Securitatea Sistemelor Informatice

- Curs 4.3 -
Sisteme de criptare bloc

Adela Georgescu

Facultatea de Matematică și Informatică
Universitatea din București

Anul universitar 2022-2023, semestrul I

Criptografia simetrică

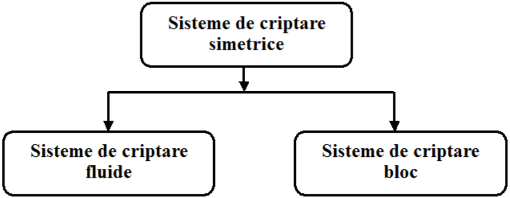
- Am studiat sisteme simetrice care criptează **bit cu bit** - sisteme de criptare fluide;

Criptografia simetrică

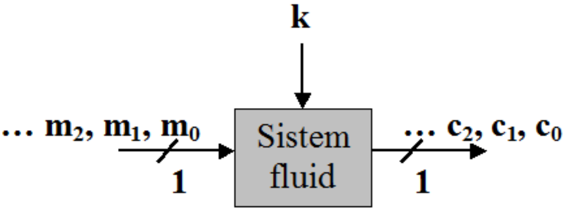
- Am studiat sisteme simetrice care criptează **bit cu bit** - sisteme de criptare fluide;
- Vom studia sisteme simetrice care criptează **câte n biți simulan** - sisteme de criptare bloc;

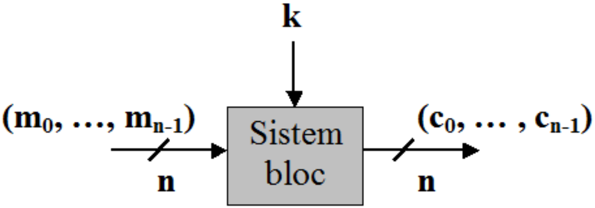
Criptografia simetrică

- Am studiat sisteme simetrice care criptează **bit cu bit** - sisteme de criptare fluide;
- Vom studia sisteme simetrice care criptează **câte n biți simulan** - sisteme de criptare bloc;



Sisteme bloc vs. sisteme fluide





Sisteme bloc vs. sisteme fluide

... d.p.d.v. al modului de criptare:

Sisteme fluide

- criptarea biților se realizează individual
- criptarea unui bit din textul clar este independentă de orice alt bit din textul clar

Sisteme bloc

- criptarea se realizează în blocuri de câte *n* biți
- criptarea unui bit din textul clar este dependentă de biții din textul clar care aparțin aceluiași bloc

Sisteme bloc vs. sisteme fluide

... d.p.d.v. *tradițional*, în practică:

Sisteme fluide

- necesități computaționale reduse
- utilizare: telefoane mobile, dispozitive încorporate, PDA
- par să fie mai puțin sigure, multe sunt sparte

Sisteme bloc

- necesități computaționale mai avansate
- utilizare: internet
- par să fie mai sigure, prezintă încredere mai mare

Sisteme bloc

- Introducem noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*

Sisteme bloc

- Introducem noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*
- În analogie cu ce știm deja:
  - **PRP** sunt necesare pentru construcția **sistemelor bloc**

Sisteme bloc

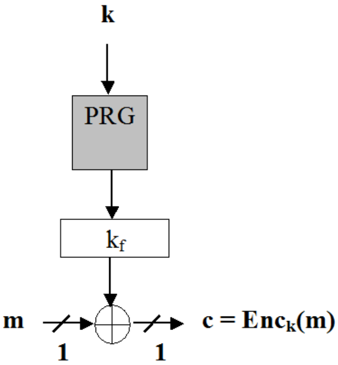
- Introducem noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*
- În analogie cu ce știm deja:
  - **PRP** sunt necesare pentru construcția **sistemelor bloc**

    așa cum

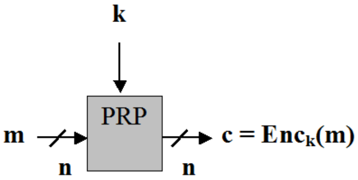
  - **PRG** sunt necesare pentru construcția **sistemelor fluide**

Sisteme bloc

Sisteme fluide



Sisteme bloc



PRP

- Ramâne să definim noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*;

PRP

- Ramâne să definim noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*;
- Acesta este o funcție **deterministă** și **bijectivă** care pentru o cheie fixată produce la ieșire o **permutare** a intrării ...

PRP

- Ramâne să definim noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*;
- Acesta este o funcție **deterministă** și **bijectivă** care pentru o cheie fixată produce la ieșire o **permutare** a intrării ...
- ... **indistinctibilă** față de o permutare aleatoare;

PRP

- Ramâne să definim noțiunea de permutare pseudoaleatoare sau PRP *(PseudoRandom Permutation)*;
- Acesta este o funcție **deterministă** și **bijectivă** care pentru o cheie fixată produce la ieșire o **permutare** a intrării ...
- ... **indistinctibilă** față de o permutare aleatoare;
- În plus, atât funcția cât și inversa sa sunt **eficient calculabile**.

PRP

Definiție

O permutare pseudoaleatoare definită peste $(\mathcal{K}, \mathcal{X})$ *este o funcție bijectivă*

$$F : \mathcal{X} \times \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{X}$$

care satisface următoarele proprietăți:

1. *Eficiență:* $\forall k \in \mathcal{K}, x \in \mathcal{X}, \exists$ *algoritmi determiniști polinomiali care calculează* $F_k(x)$ *și* $F_k^{-1}(x)$
2. *Pseudoaleatorism:* $\forall$ *algoritm PPT* $\mathcal{D}$, $\exists$ *o funcție neglijabilă negl a.î.:*

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

unde $r \leftarrow^R Perm(X), k \leftarrow^R \mathcal{K}$

Notații

- $F_k(x) = F(k, x)$
  o cheie este în general (aleator) aleasă și apoi fixată
- $Perm(X)$ = mulțimea tuturor funcțiilor bijective de la $\mathcal{X}$ la $\mathcal{X}$
- $\mathcal{X} = \{0, 1\}^n$
- $\mathcal{D}$ = *Distinguisher* care are acces la *oracolul* de evaluare a funcției

PRF

- Introducem noțiunea de funcție pseudoaleatoare sau PRF *(PseudoRandom Function)*...

PRF

- Introducem noțiunea de funcție pseudoaleatoare sau PRF *(PseudoRandom Function)*...
- ... ca o generalizare a noțiunii de **permutare pseudoaleatoare**;

PRF

- Introducem noțiunea de funcție pseudoaleatoare sau PRF *(PseudoRandom Function)*...
- ... ca o generalizare a noțiunii de **permutare pseudoaleatoare**;
- Acesta este o funcție **cu cheie** care este **indistinctibilă** față de o funcție aleatoare (cu același domeniu și mulțime de valori).

PRF

Definiție

O funcție pseudoaleatoare definită peste $(\mathcal{K}, \mathcal{X}, \mathcal{Y})$ este o funcție bijectivă

$$F : \mathcal{X} \times \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{Y}$$

care satisface următoarele proprietăți:

1. *Eficiență: $\forall k \in \mathcal{K}, x \in \mathcal{X}, \exists$ algoritm determinist polinomial care calculează $F_k(x)$*
2. *Pseudoaleatorism: $\forall$ algoritm PPT $\mathcal{D}$, $\exists$ o funcție neglijabilă negl a.î.:*

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

unde $r \leftarrow^R Func(X, Y), k \leftarrow^R \mathcal{K}$

Notații

- $F_k(x) = F(k, x)$
  o cheie este în general (aleator) aleasă și apoi fixată
- $Func(X, Y) =$ mulțimea funcțiilor de la $\mathcal{X}$ la $\mathcal{Y}$
- $\mathcal{X} = \{0,1\}^n$, $\mathcal{Y} = \{0,1\}^n$
  considerăm în general că *PRF păstrează lungimea*
- $\mathcal{D} =$ *Distinguisher* care are acces la *oracolul* de evaluare a funcției

$PRP \subseteq PRF$

- Întrebare: De ce *PRF* poate fi privită ca o generalizare a *PRP*?

$PRP \subseteq PRF$

- Întrebare: De ce PRF poate fi privită ca o generalizare a PRP?
- Răspuns: PRP este PRF care satisface:

$PRP \subseteq PRF$

- Întrebare: De ce *PRF* poate fi privită ca o generalizare a *PRP*?
- Răspuns: *PRP* este *PRF* care satisface:

  1. $\mathcal{X} = \mathcal{Y}$
  2. este inversabilă
  3. calculul funcției inverse este eficient

Construcții

- **PRF $\Rightarrow$ PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG

Construcții

- **PRF** $\Rightarrow$ **PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG** $\Rightarrow$ **PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF

Construcții

- **PRF $\Rightarrow$ PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRP se poate construi PRF

Construcții

- **PRF $\Rightarrow$ PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRP se poate construi PRF
- **PRF $\Rightarrow$ PRP**
  Pornind de la PRF se poate construi PRP

Construcții

- **PRF $\Rightarrow$ PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP $\Rightarrow$ PRF**
  Pornind de la PRP se poate construi PRF
- **PRF $\Rightarrow$ PRP**
  Pornind de la PRF se poate construi PRP

Întrebare: Care dintre aceste construcții este trivială?

Construcții

Răspuns: **PRP** $\Rightarrow$ **PRF**

Construcții

Răspuns: **PRP** $\Rightarrow$ **PRF**

PRP este o particularizare a *PRF* : $\mathcal{X} \times \mathcal{K} \rightarrow Y$ care satisface:

1. $\mathcal{X} = \mathcal{Y}$
2. este inversabilă
3. calculul funcției inverse este eficient

Construcții

- **PRF** $\Rightarrow$ **PRG**
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG** $\Rightarrow$ **PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP** $\Rightarrow$ **PRF** $\surd$
  Pornind de la PRP se poate construi PRF
- **PRF** $\Rightarrow$ **PRP**
  Pornind de la PRF se poate construi PRP

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ PRF;

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \to \{0,1\}^n$ PRF;
- Construim $G : \mathcal{K} \to \{0,1\}^{nl}$ *PRG* sigur:

$$G(k) = F_k(0)||F_k(1)||\ldots||F_k(l-1)$$

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ PRF;
- Construim $G : \mathcal{K} \rightarrow \{0,1\}^{nl}$ *PRG* sigur:

$$G(k) = F_k(0)||F_k(1)||\ldots||F_k(l-1)$$

- Întrebare: De ce este G sigur?

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ PRF;
- Construim $G : \mathcal{K} \rightarrow \{0,1\}^{nl}$ *PRG* sigur:

$$G(k) = F_k(0)||F_k(1)||\ldots||F_k(l-1)$$

- Întrebare: De ce este G sigur?
- Răspuns: $F_k(\cdot)$ este *indistinctibilă* față de o funcție aleatoare

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ PRF;
- Construim $G : \mathcal{K} \rightarrow \{0,1\}^{nl}$ *PRG* sigur:

$$G(k) = F_k(0)||F_k(1)||\ldots||F_k(l-1)$$

- Întrebare: De ce este G sigur?
- Răspuns: $F_k(\cdot)$ este *indistinctibilă* față de o funcție aleatoare $\Rightarrow G(k)$ este *indistinctibilă* față de o secvență aleatoare de lungime ln.

$PRF \Rightarrow PRG$

- Considerăm $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ PRF;
- Construim $G : \mathcal{K} \rightarrow \{0,1\}^{nl}$ *PRG* sigur:

$$G(k) = F_k(0)||F_k(1)||\ldots||F_k(l-1)$$

- Întrebare: De ce este G sigur?
- Răspuns: $F_k(\cdot)$ este *indistinctibilă* față de o funcție aleatoare $\Rightarrow G(k)$ este *indistinctibilă* față de o secvență aleatoare de lungime ln.
- Avantaj: Construcția este *paralelizabilă*

Construcții

- **PRF** $\Rightarrow$ **PRG** $\surd$
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG** $\Rightarrow$ **PRF**
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP** $\Rightarrow$ **PRF** $\surd$
  Pornind de la PRP se poate construi PRF
- **PRF** $\Rightarrow$ **PRP**
  Pornind de la PRF se poate construi PRP

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \to \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

$G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \to \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

$G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

- Construim $F : \mathcal{K} \times \{0,1\} \to \mathcal{K}$ PRF:

$$F_k(0) = G_0(k), F_k(1) = G_1(k)$$

$F_k(0)$ întoarce prima jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

$F_k(1)$ întoarce a doua jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \to \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

$G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

- Construim $F : \mathcal{K} \times \{0,1\} \to \mathcal{K}$ *PRF*:

$$F_k(0) = G_0(k), F_k(1) = G_1(k)$$

$F_k(0)$ întoarce prima jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

$F_k(1)$ întoarce a doua jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

- Întrebare: De ce este F sigură?

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

  $G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

- Construim $F : \mathcal{K} \times \{0,1\} \rightarrow \mathcal{K}$ *PRF*:

$$F_k(0) = G_0(k), F_k(1) = G_1(k)$$

  $F_k(0)$ întoarce prima jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

  $F_k(1)$ întoarce a doua jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

- Întrebare: De ce este F sigură?
- Răspuns: $G(k)$ este *indistinctibilă* față de o secvență aleatoare de lungime $2n$

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \to \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

  $G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

- Construim $F : \mathcal{K} \times \{0, 1\} \to \mathcal{K}$ PRF:

$$F_k(0) = G_0(k), F_k(1) = G_1(k)$$

  $F_k(0)$ întoarce prima jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

  $F_k(1)$ întoarce a doua jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

- Întrebare: De ce este F sigură?
- Răspuns: $G(k)$ este *indistinctibilă* față de o secvență aleatoare de lungime $2n$
  $\Rightarrow$ $G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt *indistinctibile* față de o secvență aleatoare de lungime n

$PRG \Rightarrow PRF$

- Considerăm $G : \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}^2$ PRG cu $|\mathcal{K}| = n$:

$$G(k) = (G_0(k), G_1(k))$$

  $G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt prima și a doua jumătate a ieșirii din PRG

- Construim $F : \mathcal{K} \times \{0, 1\} \rightarrow \mathcal{K}$ *PRF*:

$$F_k(0) = G_0(k), F_k(1) = G_1(k)$$

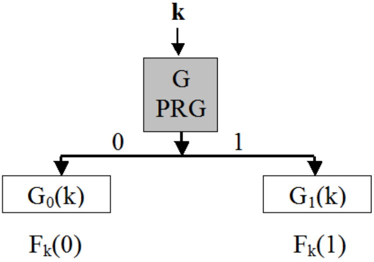
  $F_k(0)$ întoarce prima jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

  $F_k(1)$ întoarce a doua jumătate a secvenței pseudoaleatoare $G(k)$

- Întrebare: De ce este F sigură?
- Răspuns: $G(k)$ este *indistinctibilă* față de o secvență aleatoare de lungime $2n$
  $\Rightarrow$ $G_0(k)$ și $G_1(k)$ sunt *indistinctibile* față de o secvență aleatoare de lungime n
  $\Rightarrow$ pentru $k \xleftarrow{R} \{0, 1\}$, $F_k(\cdot)$ este *indistinctibilă* față de o funcție aleatoare.

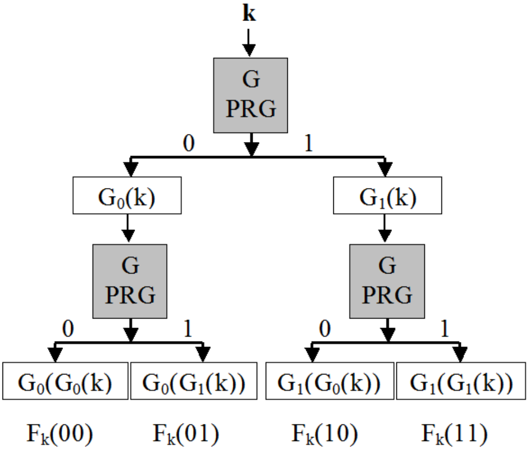
$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția pentru un singur bit de intrare...



$PRG \Rightarrow PRF$

- ...se poate generaliza pentru un număr oarecare de biți



$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;

$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;
- Pentru un nod de valoare k', copilul stâng ia valoarea $G_0(k')$ și copilul drept ia valoare $G_1(k')$;

$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;
- Pentru un nod de valoare k', copilul stâng ia valoarea $G_0(k')$ și copilul drept ia valoare $G_1(k')$;
- Valoarea funcției $F_k(x) = F_k(x_0, \ldots, x_{n-1})$ este obținută prin parcurgerea arborelui în funcție de x ;

$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;
- Pentru un nod de valoare k', copilul stâng ia valoarea $G_0(k')$ și copilul drept ia valoare $G_1(k')$;
- Valoarea funcției $F_k(x) = F_k(x_0, \ldots, x_{n-1})$ este obținută prin parcurgerea arborelui în funcție de x ;
- Adâncimea arborelui este *liniară* în n (n);

$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;
- Pentru un nod de valoare k', copilul stâng ia valoarea $G_0(k')$ și copilul drept ia valoare $G_1(k')$;
- Valoarea funcției $F_k(x) = F_k(x_0, \ldots, x_{n-1})$ este obținută prin parcurgerea arborelui în funcție de x ;
- Adâncimea arborelui este *liniară* în n (n);
- Dimensiunea arborelui este *exponențială* în n (2^n);

$PRG \Rightarrow PRF$

- Construcția poate fi reprezentată ca un arbore binar cu cheia k rădăcină;
- Pentru un nod de valoare k', copilul stâng ia valoarea $G_0(k')$ și copilul drept ia valoare $G_1(k')$;
- Valoarea funcției $F_k(x) = F_k(x_0, \ldots, x_{n-1})$ este obținută prin parcurgerea arborelui în funcție de x ;
- Adâncimea arborelui este *liniară* în n (n);
- Dimensiunea arborelui este *exponențială* în n (2^n);
- NU se utilizează în practică din cauza performanței scăzute.

Construcții

- **PRF** $\Rightarrow$ **PRG** $\surd$
  Pornind de la PRF se poate construi PRG
- **PRG** $\Rightarrow$ **PRF** $\surd$
  Pornind de la PRG se poate construi PRF
- **PRP** $\Rightarrow$ **PRF** $\surd$
  Pornind de la PRP se poate construi PRF
- **PRF** $\Rightarrow$ **PRP**
  Pornind de la PRF se poate construi PRP

$PRF \Rightarrow PRP$

Teoremă (Luby-Rackoff 5)

Dacă $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ este PRF, se poate construi $F' : \mathcal{K} \times \{0,1\}^2 \rightarrow \{0,1\}^2$ PRP.

$PRF \Rightarrow PRP$

Teoremă (Luby-Rackoff 5)

Dacă $F : \mathcal{K} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ este PRF, se poate construi $F' : \mathcal{K} \times \{0,1\}^2 \rightarrow \{0,1\}^2$ PRP.

- Construcția folosește runde **Feistel**, pe care le vom prezenta într-un curs ulterior.

Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...

Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mică** decât dimensiunea unui bloc?

Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mică** decât dimensiunea unui bloc?
- Răspuns: Se completează cu biți: $\mathbf{1\ 0 \ldots 0}$;

Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mică** decât dimensiunea unui bloc?
- Răspuns: Se completează cu biți: $\mathbf{1\ 0 \ldots 0}$;
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mare** decât lungimea unui bloc?

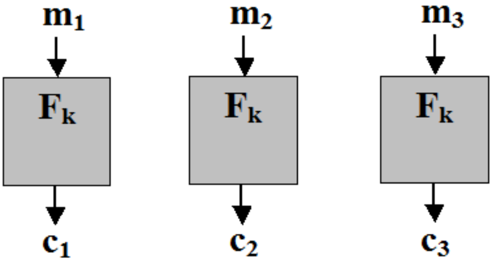
Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mică** decât dimensiunea unui bloc?
- Răspuns: Se completează cu biți: $\mathbf{1\ 0 \ldots 0}$;
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mare** decât lungimea unui bloc?
- Răspuns: Se utilizează un **mod de operare** (ECB, CBC, OFB, CTR);

Moduri de utilizare

- Să continuam cu ceva mai practic...
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mică** decât dimensiunea unui bloc?
- Răspuns: Se completează cu biți: $\mathbf{1\ 0 \ldots 0}$;
- Întrebare: Ce se întâmplă dacă lungimea mesajului clar este **mai mare** decât lungimea unui bloc?
- Răspuns: Se utilizează un **mod de operare** (ECB, CBC, OFB, CTR);
- Notăm cu F_k un sistem de criptare bloc (i.e. PRP) cu cheia k fixată.

Modul ECB (Electronic Code Book)



Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **paralelizabil**;

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **paralelizabil**;
- Este **determinist**, deci este **nesigur**;

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **paralelizabil**;
- Este **determinist**, deci este **nesigur**;
- Întrebare: Ce informații poate să ofere modul de criptare ECB unui adversar pasiv?

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **paralelizabil**;
- Este **determinist**, deci este **nesigur**;
- Întrebare: Ce informații poate să ofere modul de criptare ECB unui adversar pasiv?
- Răspuns: Un adversar pasiv detectează repetarea unui bloc de text clar pentru că se repetă blocul criptat corespunzător;

Modul ECB (Electronic Code Book)

- Pare modul cel mai **natural** de a cripta mai multe blocuri;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **paralelizabil**;
- Este **determinist**, deci este **nesigur**;
- Întrebare: Ce informații poate să ofere modul de criptare ECB unui adversar pasiv?
- Răspuns: Un adversar pasiv detectează repetarea unui bloc de text clar pentru că se repetă blocul criptat corespunzător;
- Modul ECB NU trebuie utilizat în practică!

Modul ECB (Electronic Code Book)

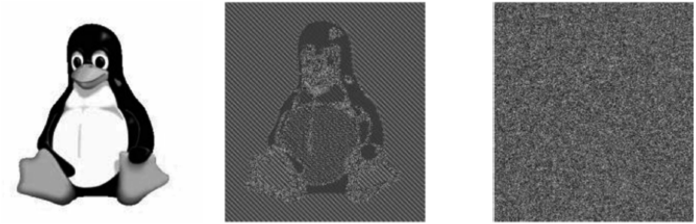
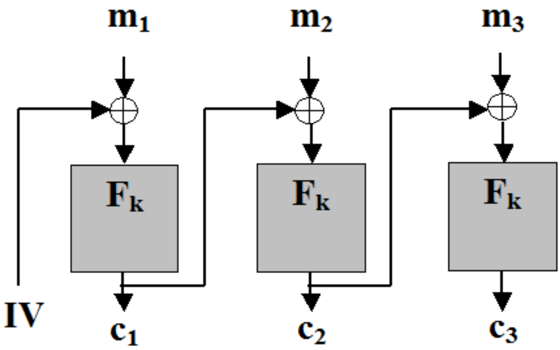


Figure: Imagine preluată de pe `https://en.wikipedia.org/`

Figura din mijloc este criptarea imaginii din stânga în modul ECB.
In dreapta este aceeași imagine criptată folosind un mod sigur.

Modul CBC (Cipher Block Chaining)



Modul CBC (Cipher Block Chaining)

- IV este o ales în mod aleator la criptare;

Modul CBC (Cipher Block Chaining)

- IV este o ales în mod aleator la criptare;
- IV se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;

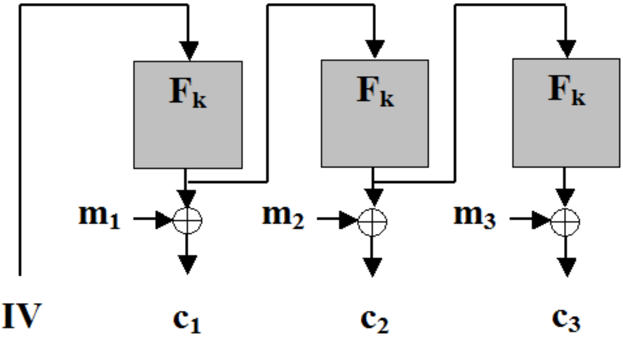
Modul CBC (Cipher Block Chaining)

- IV este o ales în mod aleator la criptare;
- IV se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;

Modul CBC (Cipher Block Chaining)

- IV este o ales în mod aleator la criptare;
- IV se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- Pentru decriptare, F_k trebuie să fie **inversabliă**;
- Este **secvențial**, un dezavantaj major dacă se poate utiliza procesarea paralelă.

Modul OFB (Output FeedBack)



Modul OFB (Output FeedBack)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;

Modul OFB (Output FeedBack)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *IV* este o ales în mod aleator la criptare;

Modul OFB (Output FeedBack)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *IV* este o ales în mod aleator la criptare;
- *IV* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;

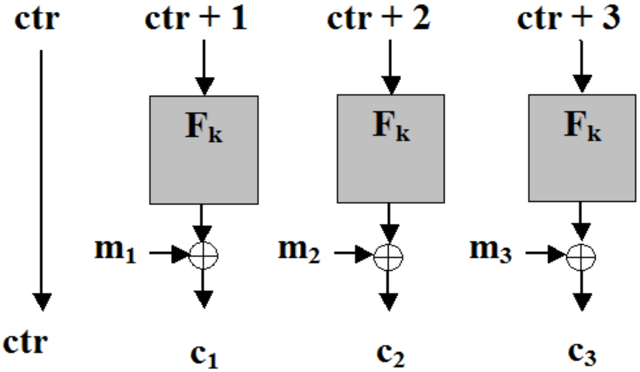
Modul OFB (Output FeedBack)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *IV* este o ales în mod aleator la criptare;
- *IV* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- F_k nu trebuie neapărat să fie inversabliă;

Modul OFB (Output FeedBack)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- IV este o ales în mod aleator la criptare;
- IV se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- F_k nu trebuie neapărat să fie inversabliă;
- Este **secvențial**, însă secvența pseudoaleatoare poate fi pre-procesată anterior decriptării.

Modul CTR (Counter)



Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;

Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *ctr* este o ales în mod aleator la criptare;

Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *ctr* este o ales în mod aleator la criptare;
- *ctr* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;

Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *ctr* este o ales în mod aleator la criptare;
- *ctr* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- F_k nu trebuie neapărat să fie inversabliă;

Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *ctr* este o ales în mod aleator la criptare;
- *ctr* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- F_k nu trebuie neapărat să fie inversabliă;
- Este **paralelizabil**;

Modul CTR (Counter)

- Generează o secvență pseudoaleatoare care se XOR-ează mesajului clar;
- *ctr* este o ales în mod aleator la criptare;
- *ctr* se transmite în clar pentru ca este necesar la decriptare;
- F_k nu trebuie neapărat să fie inversabliă;
- Este **paralelizabil**;
- În plus, secvența pseudoaleatoare poate fi pre-procesată anterior decriptării.

Exemple

- DES (Data Encryption Standard):
  - propus de IBM
  - adoptat ca standard NIST în 1976
    (lungime cheie = 64 biți, lungime bloc = 64 biți)
  - spart prin căutare exhaustivă în 1997

Exemple

- DES (Data Encryption Standard):
  - propus de IBM
  - adoptat ca standard NIST în 1976
    (lungime cheie = 64 biți, lungime bloc = 64 biți)
  - spart prin căutare exhaustivă în 1997
- AES (Advanced Encryption Standard):
  - algoritmul *Rijndael* propus de J. Daemen și V.Rijman
  - adoptat ca standard NIST în 2001
    (lungime cheie = 128, 192, 256 biți, lungime bloc = 128 biți)

Important de reținut!

- Sisteme bloc vs. sisteme fluide
- Noțiunile de PRP, PRF
- Construcții specifice PRG, PRF, PRP
- Transpunerea sistemelor bloc în practică - moduri de operare: ECB, CBC, OFB, CTR