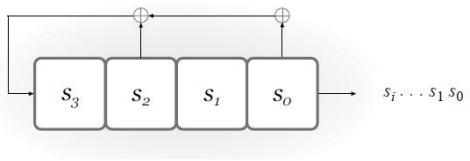
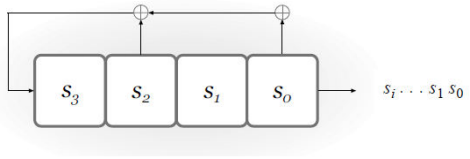
Linear-Feedback Shift Registers (LFSR)

- sunt foarte eficiente în implementari hardware
- au proprietăți statistice bune dar totuși sunt predictibile, deci nu sunt PRG-uri sigure din punct de vedere criptografic
- Mai jos este un exemplu



- Componente, în general:
  - *n registri* $s_{n-1}, ..., s_0$ - fiecare contine un singur bit
  - *n coeficienti feedback* $c_{n-1}, ..., c_0$
  - *gradul* este n

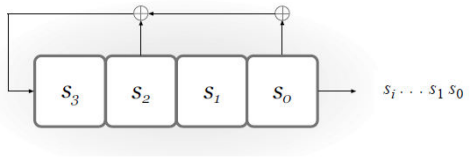
Linear-Feedback Shift Registers (LFSR)



In exemplul de mai sus avem

- $c_0 = c_2 = 1$ si $c_1 = c_3 = 0$
- fiecare bit de la ieșire este calculat după formula $c_0 s_0 \oplus ... \oplus c_3 s_3$
- la fiecare tact de ceas, LFSR scoate la ieșire valoarea din registrul s_0 iar valorile din ceilalți regiștri sunt deplasate la dreapta cu o poziție

Linear-Feedback Shift Registers (LFSR)



Pentru starea inițială (0,0,1,1), biții de la ieșire vor fi ...
(0,0,1,1)
(1,0,0,1)
...
In general

- starea LFSR constă din *n* biți (conținutul regiștrilor la un moment dat)
- există cel mult 2^n stări posibile până când output-ul LFSR-ului se repetă
- cunoscând cel mult $2n$ biti de la ieșire, un atacator poate afla starea inițială și coeficienții de feedback

RC4
Informații generale

RC4 este:

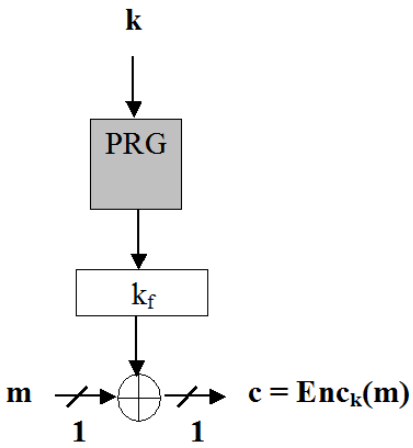
- introdus de R. Rivest la MIT (1987);
- înregsitrat ca marca a RSA Data Security;
- păstrat secret până în 1994 când a devenit public;
- utilizat în WEP, SSL/TLS.

Descriere

- RC4 este un sistem de criptare fluid pe octeți:

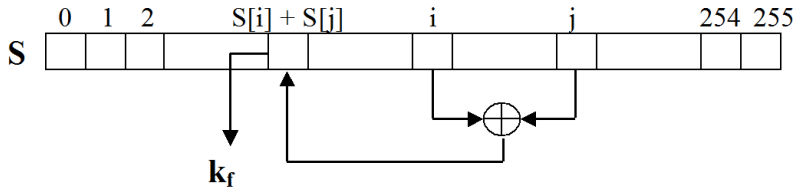
$$m \in \{0,1\}^8, c \in \{0,1\}^8$$

- Ramâne de definit PRG...



Descriere

- 2 faze:
  - inițializare: determină starea internă, fără să producă chei fluide;
  - generare de chei fluide: modifică starea internă și generează un octet (*cheia fluidă*) care se XOR-ează cu m pentru a obține c;
- Starea internă:
  - un tablou S de 256 octeți: $S[0], \ldots, S[255]$;
  - 2 indici i și j;
- Toate operațiile se efectuează pe octeți (i.e. (mod 256)).



Descriere

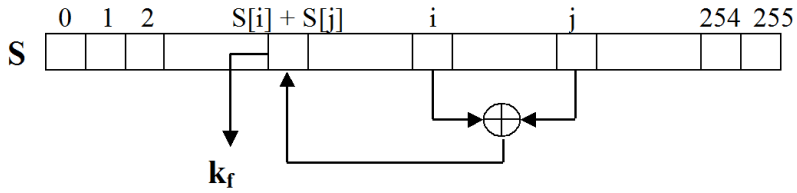
Faza 1. Inițializare

- n = numărul octeților din cheie, $1 \leq n \leq 256$
- $j \leftarrow 0$
  for $i = 0$ **to** 255 **do**
  $S[i] \leftarrow i$
  end for
  for $i = 0$ **to** 255 **do**
  $j \leftarrow j + S[i] + k[i \pmod n]$
  swap $(S[i], S[j])$
  end for
  $i \leftarrow 0$
  $j \leftarrow 0$

Descriere

Faza 2. Generarea cheii fluide

- cheia se obține octet cu octet
- $i \leftarrow i + 1$
  $j \leftarrow j + S[i]$
  swap $(S[i], S[j])$
  return $S[S[i] + S[j]]$



Descriere

Detalii de implementare:

- $5 \leq n \leq 16 \Rightarrow 40 \leq |k| \leq 256$;
- memorie: 256 octeți (pentru S) și câteva variabile *byte*;
- operații simple, rapid de executat.

Securitate

- primii octeți generați drept cheie fluidă sunt total ne-aleatori și oferă informații despre cheie (Fluhrer, Mantin and Shamir 2001)
- RC4 pe 104 biți (utilizat pentru WEP pe 128 biți) a fost spart în aprox. 1 min (algoritm al lui Tews, Weinmann, Pychkine 2001, bazat pe idea lui Klein 2005)
- un atac recent arată că pot fi determinați primii aprox. 200 octeți din textul clar criptat cu RC4 în TLS cunoscând $[2^{28} - 2^{32}]$ criptări independente (Royal Holloway, 2013)

Vulnerabilitati LFSR

- LFSR-urile sunt liniare iar liniaritatea induce vulnerabilități (sistemele liniare de ecuații permit aflarea informațiilor sensibile)
- Insă combinațiile de mai multe LFSR-uri pot produce sisteme de criptare sigure

Trivium

- Trivium a fost propus în 2008, este simplu și compact hardware, constă din 3 FSR-uri (feedback shift registers) neliniare de grad 93, 84 respectiv 111
- Regiștri sunt cuplați: la fiecare tact, cel mai din stânga registru va conține o valoare calculată ca funcție aplicată unui registru din același FSR dar și unor regiștri dintr-un alt FSR
- cel mai bun atac cunoscut pentru Trivium este cel prin forță brută