Blowfish, IDEA, (pseudo)juhuarvud

Erika Matsak, PhD

1

Bruce Schneier

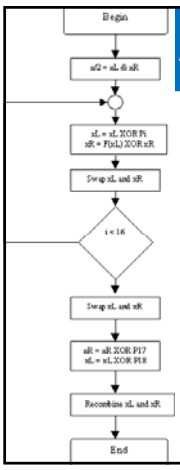
- Bruce Schneier (sündinud 15. 01. 1963) Ameerika krüptograaf, arvutite turvalisuse spetsialist.
- Mitmete raamatute autor, mis on pühendatud arvutite turvalisusele ja krüptograafiale
- Counterpane Internet Security asutaja ning juhtiv spetsialist
- Blowfish algoritmi esimene publikatsioon: Description of a "*New Variable-Length Key, 64-bit Block Cipher (Blowfish)*", First Fast Software Encryption workshop in Cambridge, UK (proceedings published by Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science #809, 1994), ISBN:3-540-58108-1

Mõned raamatud:

"Beyond fear: thinking sensibly about security in an uncertain world"

"Secrets and lies: digital security in a networked world"

2



Algoritm Blowfish

- Loodud 1993 aastal Bruce Schneier'i poolt
- Sümmeetriline plokk-šiffer
- Kasutab XOR operatsioone, liitmist ja permutatsioone.
- Vabalt levitatav.
- Võtme pikkus varieeruv: 32 kuni 448 bitt, ehk 1-14 sõna (kui sõna pikkus 32 bitti)

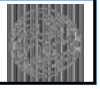
  Ploki suurus – 64 bitti

  Aluseks on Feisteli võrk (16 raundi)

  XOR teostatakse 32-bitiselt

Algoritm sisaldab kaks osa: alamvõtmete genereerimine ning andmete šifreerimine

Pildi krüpteerimine:



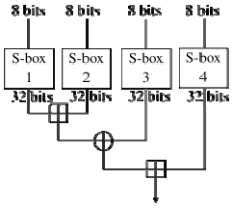
Algoritm Blowfish. Funktisoon *f*

Funktsiooni *f* arvutamine:

Jagada X_L neljaks 8-bitiseks plokkiks: a, b, c ja d.

Seejärel arvutada:

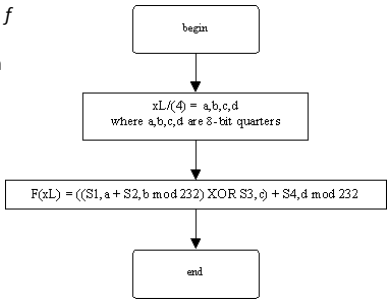
$((S1[a] + S2[b] \bmod 2^{32}) \oplus S3[c]) + S4[d] \bmod 2^{32}$;



4

Algoritm Blowfish, funktioon *f*

Funktsiooni *f* arvutamise plokkskeem



5

Algoritm Blowfish. Alamvõtmed.

- Kasutab väga palju alamvõtmeid, mis peavad olema genereeritud enne šifreerimist, genereeritakse selle sama Blowfish-i algoritmiga

1. Jagada võti 32 bitisteks plokkideks $k_1 \ldots k_n$.
   - Teostada XOR P_1 ja k_1 vahel, P_2 ja k_2 ja $P_n \ldots k_n$ vahel, ehk $a_i = P_i \oplus k_i$
   - Kui esialgne võti on liiga lühike, siis moodustakse sellest piisavalt pikk konkatenatsioon, näiteks KEYKEYKEYKEY..... jne

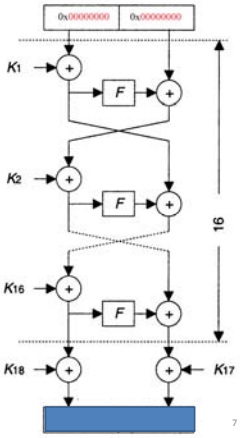
P maatriks HEX kujul, mis on genereeritud arvust PI (ehk π), kus iga arv on kahendkoodis 32 bitti, ehk kokku on 32x18=576 bitti, millega saab katta iga võtme pikkust

0x**243f6a88**	0x**85a308d3**	0x**13198a2e**	0x**03707344**
0x**a4093822**	0x**299f31d0**	0x**082efa98**	0x**ec4e6c89**
0x**452821e6**	0x**38d01377**	0x**be5466cf**	0x**34e90c6c**
0x**c0ac29b7**	0x**c97c50dd**	0x**3f84d5b5**	0x**b5470917**
0x**9216d5d9**	0x**8979fb1b**		

6

Algoritm Blowfish. Alamvõtmed.

Kasutades esimesel etapil genereeritud alamvõtmeid
k_1 .. k_{18} šifreeritakse rida (algoritmiga Blowfish), mis koosneb ainult nullidest.
Läbitakse 16 raundi



Tulemuseks on uued K1 ja K2
Seejärel šifreeritakse eelmise etapi tulemus kasutades saadud K1 ja K2 ning tulemuseks on uued K3 ja K4 jne (kuni kõik alamvõtmed K_i on asendatud)

Seejärel asendatakse S-boxide vastavate kohtade sisu, kasutades sama algoritmi (Esimeseks sisendiks on K17 ja K18). Tsükkel jookseb 4x256 korda. Esimese tsükli tulemus on S1-boxi 0 ja 1 kohad. Iga järgmise tsükli sisesendiks on eelmise tsükli tulemus. Nii jätkatakse, kuni S-id on asendatud.

7

Algoritm Blowfish. Alamvõtmed

Lähemalt:

- Sisestatud võti teisendatakse kahendkoodiks
- Näiteks, kui võtmeks on "my password 8", siis sellele vastab: 01101101 01111001 00100000 01110000 01100001 01110011 01110011 01110111 01101111 01110010 01100100 00100000 00111000
- Iga 32 bitti (märgitud erineva värviga) kasutakse alamvõtmete genereerimiseks, näiteks esimesed 32 bitti (sinine osa) pannakse XOR operaatoriga kokku P1-ga (0x**243f6a88,** ehk 00100100 00111111 01101010 10001000).

8

Algoritm Blowfish. Alamvõtmed.

- Alamvõtmete järgmine osa on seotut 16 Blowfish raundiga. Alustatakse sisendist, mille pikkus on 32 bitti ning kõik bitid on nullid. See jagatakse 4-ks 8-bitiseks osaks. Iga taoline osa tähistab kümnendkoodis S-box-i sisendit.

Näide.

Kui tegu on arvuga:
10011011 10101111 11100101 10011000,
siis kümnendkoodis on tegu järgmise arvude jadaga:
155 175 229 152.

Järelikult esimesest S-boxist tuleb võta element nr 155, teisest S-Boxist element 175 jne. Saadud arvudega arvutatakse funktsiooni *f* :
$((S1[a] + S2[b] \bmod 2^{32}) \oplus S3[c]) + S4[d] \bmod 2^{32}$;

9

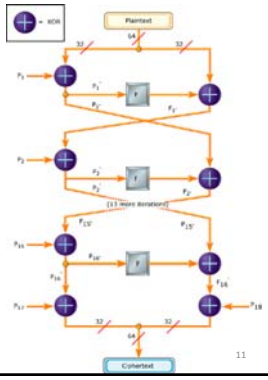
Algoritm Blowfish, 16 raundi

```
for (int i = 0; i < 16; i++) {
        Xl = Xl ^ this.ctx.P[i];
         Xr = F(Xl) ^ Xr;
         tmp = Xl;
         Xl = Xr;
         Xr = tmp;
       }
```

10

Algoritm Blowfish

- Kui alamvõtmed on valmis, siis krüpteeritakse teksti sama algoritmiga.
- Avateksti krüpteerimiseks kasutatakse uut S-boxi
- Seejärel jagatakse avatekst 64 bitisteks plokkideks, jaotatakse pooleks: vasakuks ja paremaks pooleks ning läbitakse kõik raundid.



11

Algoritm IDEA (International Data Encryption Algorithm)

- Sümmeetriline plokkšiffer. Loodud Xuejia Lai ning James L. Massey poolt
- Algoritmi esimene versioon on välja töötatud 1990aastal ja aasta pärast täiendatud. Patent kehtib kuni 2010–2011. Kasutamine mitte ärilistel eesmärkidel on tasuta

Xuejia Lai
4. juuni 1954

James L. Massey, 11. veebruar 1934

Võtme pikkus 128 bitti
Krüpteeritud plokki suurus 64 bitti

Eesmärgiks oli luua võimalikult lihtsa realisatsiooniga algoritm, mis omaks kõrget “kindlust” turvalise aspektist

12

Algoritm IDEA (International Data Encryption Algorithm)

Algoritmi karakteristikud:

- Ploki suurus on piisavalt suur (64bitti). Kasututakse ahelarežiimi (CDC)
- Võtme pikkus on oluline. Lühikese võtme puhul ei ole kõikide võtmete arv piisav, et murdmine oleks keeruline. Antud juhul on kõikide võimalike võtmete arv 2^{128}
- Krüpteeritud tekst on seotud võtmega "keerulisel" viisil (Segamine)
- Peidab efektiivselt krüpteeritud teksti statistilised omadused. Ehk iga krüpteeritud bitt sõltub paljudest avateksti bittidest.

13

Algoritm IDEA (International Data Encryption Algorithm)

- Iga ploki (64 bitti) jagatakse neljaks osaks, iga osa suurus 16 bitti. Kõik algebralised operatsioonid teostatakse 16 biti peal.
- Šifreerimiseks ja dešifreerimiseks kasutatakse sama algoritmi.
- Operatsioonid: XOR, liitmine mod 2^{16} alusel, korrutamine mod $2^{16}+1$ alusel. Distributiivsus ja assotsiatiivsus nende operatsioonide vahel ei kehti. See raskendab krüptoanalüüsi ja murdmist. Operatsioonid annavad võimaluse loobuda S-Boxidest ning asendustabelitest.

$$a * (b + c) \;<>\; (a * b) + (a * c)$$
$$a + (b \oplus c) \;<>\; (a + b) \oplus c$$

http://et.wikipedia.org/wiki/Kahends%C3%BCsteem

14

Algoritm IDEA. Võtmete genereerimine

- 128 bitisest võtmest genereeritakse iga 8 raundi jaoks 6 alamvõtit, iga alamvõtme pikkus 16 bitti. Kokku on vaja 52=8x6+4 erinevat alamvõtit.
- Kõigepealt 128 biti pikkust võtit jagatakse kaheksaks osaks. Nimetatud osadest saadakse 8 esimest alamvõtit.

$$(K_1^{(1)} K_2^{(1)} K_3^{(1)} K_4^{(1)} K_5^{(1)} K_6^{(1)} K_1^{(2)} K_2^{(2)})$$

6tk esimese raundi jaoks ja 2tk teise raundi jaoks

Seejärel teostakse esialgses 128 bitises võtmes registri nihutamine 25 positsiooni võrra. Seejärel jagatakse 128 bitti uuesti kaheksaks osaks, millest saadakse järgmised 8 alamvõtit

$$(K_3^{(2)} K_4^{(2)} K_5^{(2)} K_6^{(2)} K_1^{(3)} K_2^{(3)} K_3^{(3)} K_4^{(3)})$$

Jätkatakse, kuni on valmis 8x6+4=52 alamvõtit.

15

Algoritm IDEA. Võtmete genereerimine

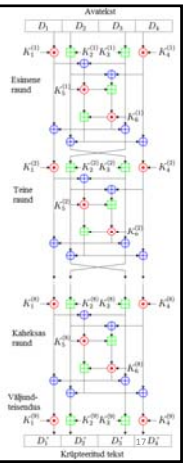
Raundi number	Alamvõtmed
1	$K_1^{(1)} K_2^{(1)} K_3^{(1)} K_4^{(1)} K_5^{(1)} K_6^{(1)}$
2	$K_1^{(2)} K_2^{(2)} K_3^{(2)} K_4^{(2)} K_5^{(2)} K_6^{(2)}$
3	$K_1^{(3)} K_2^{(3)} K_3^{(3)} K_4^{(3)} K_5^{(3)} K_6^{(3)}$
4	$K_1^{(4)} K_2^{(4)} K_3^{(4)} K_4^{(4)} K_5^{(4)} K_6^{(4)}$
5	$K_1^{(5)} K_2^{(5)} K_3^{(5)} K_4^{(5)} K_5^{(5)} K_6^{(5)}$
6	$K_1^{(6)} K_2^{(6)} K_3^{(6)} K_4^{(6)} K_5^{(6)} K_6^{(6)}$
7	$K_1^{(7)} K_2^{(7)} K_3^{(7)} K_4^{(7)} K_5^{(7)} K_6^{(7)}$
8	$K_1^{(8)} K_2^{(8)} K_3^{(8)} K_4^{(8)} K_5^{(8)} K_6^{(8)}$
Väljundteisendus	$K_1^{(9)} K_2^{(9)} K_3^{(9)} K_4^{(9)}$

16

Algoritm IDEA

⊕ XOR ⊙ korrutamine ⊞ liitmine

Avateksti iga 64 bitine plokk jagatakse neljaks osaks: D_1,D_2,D_3,D_4
Šifreerimise protsess koosneb 8 ühesugusest raundist. Igal raundil kasutakse omi alamvõtmeid.
Kasutatakse tehteid XOR, korrutamist ja liitmist.
Kui on läbitud 8 raundi, siis teostatakse väljundteisendus. Saadud krüptogrammi osad pannakse kokku konkatenatsiooniga.



17

Algoritm IDEA. Matemaatiline kirjeldus

- Sisend: $(D_1^{(0)}, D_2^{(0)}, D_3^{(0)}, D_4^{(0)})$
- Iga raundi jaoks arvutatakse:

$$\begin{aligned} A^{(i)} &= D_1^{(i-1)} * K_1^{(i)} \\ B^{(i)} &= D_2^{(i-1)} + K_2^{(i)} \\ C^{(i)} &= D_3^{(i-1)} + K_3^{(i)} \end{aligned} \longrightarrow \begin{aligned} D^{(i)} &= D_4^{(i-1)} * K_4^{(i)} \\ E^{(i)} &= A^{(i)} \oplus C^{(i)} \\ F^{(i)} &= B^{(i)} \oplus D^{(i)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_1^{(i)} &= A^{(i)} \oplus ((F^{(i)} + E^{(i)} * K_5^{(i)}) * K_6^{(i)}) \\ D_2^{(i)} &= C^{(i)} \oplus ((F^{(i)} + E^{(i)} * K_5^{(i)}) * K_6^{(i)}) \\ D_3^{(i)} &= B^{(i)} \oplus (E^{(i)} * K_5^{(i)} + (F^{(i)} + E^{(i)} * K_5^{(i)}) * K_6^{(i)}) \\ D_4^{(i)} &= D^{(i)} \oplus (E^{(i)} * K_5^{(i)} + (F^{(i)} + E^{(i)} * K_5^{(i)}) * K_6^{(i)}) \end{aligned}$$

18

Pseudo-juhuarvud

- John von Neumann «*igaüks, kel on nõrkus juhuslike arvude saamise aritmeetiliste meetodite vastu – on kahtlemata patune*».
- Mitte ükski determineeritud algoritm ei saa genereerida täiesti juhuslike arve. Saab vaid lähendada mõningaid juhuarvude omadusi.

John von Neumann (28. 12. 1903 – 8. 02. 1957)

Võimalikud probleemid:
—Genereeritavad arvud, ei ole üks-teisest sõltumatud
—Mõned arvud on "vähem" juhuslikud, kui teised
—Mitteühtlane ühemõõtmeline jaotus (samas peaks aga iga arvu esinemise sagedus olema enam-vähem ühesugune)
—Pööratavus

19

Pseudo-juhuslikud jadad

- Kas jada 0100100010 on (pseudo) juhuslik?
- Intuitsioon 1: Jada on pseudojuhuslik, kui tema järgmise biti ennustamise tõenäosus ei erine kuigi palju 1/2 -st.
- Intuitsioon 2: Jada on pseudojuhuslik, kui ta on eristamatu n-ö päris-juhuslikust jadast.

http://home.cyber.ee/ahtbu/pseudo_slides.pdf

20

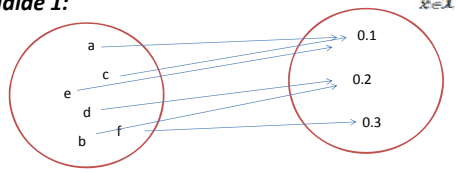
Tõenäosusjaotused

- Tõenäosusjaotuseks *D* lõplikul hulgal $\mathcal{X}$ nimetatakse funktsiooni $D: \mathcal{X} \to [0,1]$

  mis igale elemendile $x \in \mathcal{X}$ seab vastavusse tema esinemise tõenäosuse *D(x)*.

$$\sum_{x \in \mathcal{X}} D(x) = 1$$

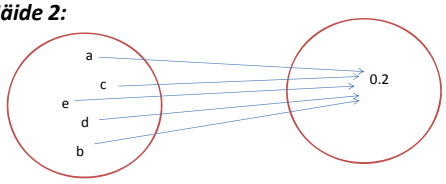
Näide 1:



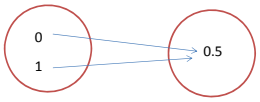
21

Tõenäosusjaotused

Näide 2:



Näide 3:



Pseudo-juhuarvud. Lineaarne kongruentsivalem (*Linear congruential formula)*

$$X_{k+1} = (aX_k + c) \mod m$$

- kasutatakse lihtsamates situatsioonides, algoritm ei ole krüpteerimise mõttes tugev
  - Näide: Java programmeerimiskeel: RANDOM

a,c,m täisarvulised konstandid, tulemuseks on arvude jada vahemikus $0 \le X_n < m$.
Juhuarv sõltub X_0 –st, kuigi paljud omadused genereeritud jadas sõltuvad koefitsientidest a,c,m mitte esimest elemendist X_0

23

Pseudo-juhuarvud. Lineaarne kongruentsivalem (*Linear congruential formula*)

- Koefitsientide valik on väga oluline. Siin peab *m* olema võimalikult suur (tavaliselt suurim täisarv, mida arvuti suudab genereerida, ehk $\approx 2^{31}$)
- Vähesed koefitsiendid annavad jada, mis on lähedane juhuslikule ning on realiseeritav 32 bitisel protsessoril.
- Üks tuntud hea valik on $a = 7^5$, $c = 0$, $m = 2^{31} - 1$. Kui aga vastane teab koefitsiente ja kas või üht arvu, siis on kogu jada tema jaoks arvutatav.
- Kui vastane ei tea koefitsiente, aga teab kolme järjest paikneva arvu, siis on võimalik lahendada võrrandeid:

  $X_1 = (a X_0 + c) \mod m$
  $X_2 = (a X_1 + c) \mod m$
  $X_3 = (a X_2 + c) \mod m$
  ning leida a, c, m.
- Võimalik lahendus: lisada igale genereeritavale arvule n-ö jooksev kellaaeg sekundites

24

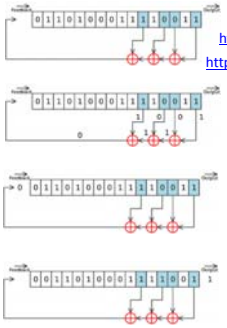
Pseudo-juhuarvud, *LFSR (Linear feedback shift register)*

- Koosneb kahest osast: registri nihutamisest ning tagasiside funktsioonist.
  - Kõik bitid nihutatakse registris ühe positsiooni võrra paremale
  - Uue biti arvutamine toimub eelnevalt välja valitud positsioonidel paiknevatest bittidest funktsiooni abil
  - Funktsioon on loomu poolest XOR kõikidest bittidest, vastavate koefitsientidega

$$S_L = (c_1 * S_{L-1}) \oplus (c_2 * S_{L-2}) \oplus \ldots \oplus (c_L * S_0)$$
$$S_{L+1} = (c_1 * S_L) \oplus (c_2 * S_{L-1}) \oplus \ldots \oplus (c_L * S_1)$$
$$S_j = (c_1 * S_{j-1}) \oplus (c_2 * S_{j-2}) \oplus \ldots \oplus (c_L * S_{j-L})$$

25

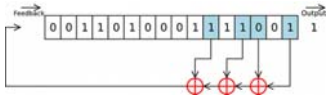
Pseudo-juhuarvud, *LFSR (Linear feedback shift register)*



http://www.itec.kit.edu/~goerke/shiftreg/Hints-SR.html
http://introcs.cs.princeton.edu/java/14array/LFSR.java.html

$$x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + 1.$$

Periood: 2^n-1
Ehk antud juhul 65535

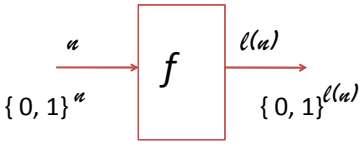


26

Pseudo-juhuarvude generaatorid

- Juhuarvude generaatori sisendi pikkuse n ja väljundi pikkuse $\ell(n)$ kohta eeldatakse ainult seda, $\ell(n) > n$.
- Erijuhul on generaatori väljund vaid ühe biti võrra pikem sisendist, ehk pikkusega n+1. Praktikas on aga enamasti vaja generaatoreid, mis " venitavad" rohkem.

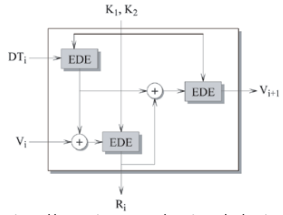
http://home.cyber.ee/ahtbu/pseudo_slides.pdf



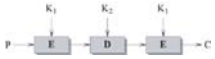
27

Pseudo-juhuarvude generaator. ANSI X9.17

- Dt_i – kuupäeva ning aja väärtus enne *i* raundi käivitamist
- V_i –algväärtus raundil i
- R_i – pseudo-juhuarv, mis on moodustatud i raundil
- K_1, K_2 – võtmed, mis kasutatakse igal raundil (iga võti 56 bitt)



EDE on kolmekordne DES algoritm



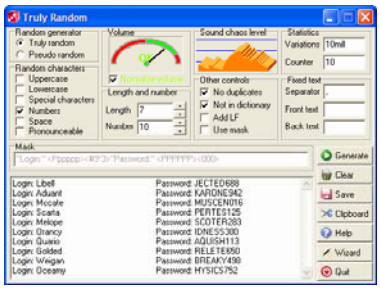
$R_i = EDE_{K1,K2} [EDE_{K1,K2} [DT_i] V_i]$

$V_{i+1} = EDE_{K1,K2} [EDE_{K1,K2} [DT_i] R_i]$

http://w2.cadence.com/products/ip/Cadence/RNG_DataSheet.pdf

28

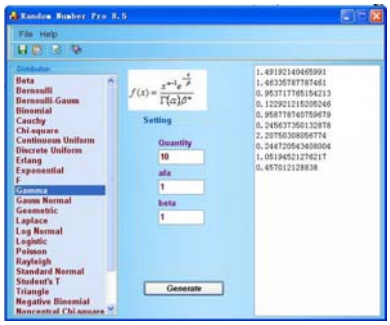
Pseudo-juhuarvude generaatorid



http://www.lisisoft.com/download.php?id=86895

29

Pseudo-juhuarvude generaatorid



http://www.lisisoft.com/download.php?id=175462

30