

שיעור 8

צופן אל-גמאל

הגדרה 8.1 צופן אל-גמאל

יהי p מספר ראשוני (גדול), α יוצר של $(\mathbb{Z}_p^*, \times_p)$ ויהי $a \in \{2, 3, \dots, p-2\}$.
יהי הקבוצת טקסט גלוי $P = \mathbb{Z}_p^*$ והקבוצת טקסט מוצפן $C = \mathbb{Z}_p^* \times \mathbb{Z}_p^*$. נגדיר קבוצת מפתחות

$$K = \{(p, \alpha, a, \beta) \mid \beta = \alpha^a \pmod{p}\}.$$

לכל $d = \{2, 3, \dots, p-2\}$ ו- $(y_1, y_2) \in P, x \in P, k = (p, \alpha, a, \beta) \in K$ נגדיר

$$e_k(x, d) = (y_1, y_2)$$

כאשר $y_2 = \beta^d x \pmod{p}, y_1 = \alpha^d \pmod{p}$ ו-

$$d_k(y_1, y_2) = (y_1^a)^{-1} y_2 \pmod{p}.$$

(p, α, β) מפתח ציבורי ו- a מפתח סודי.

משפט 8.1 צופן אל-גמאל צופן חוקי

אם p מספר ראשוני ו- α יוצר של $(\mathbb{Z}_p^*, \times_p)$, $a \in \{2, 3, \dots, p-2\}$, $\beta = \alpha^a \pmod{p}$ ו- $x \in \mathbb{Z}_p^*$ אז לכל $d \in \{2, 3, \dots, p-2\}$

$$((\alpha^d)^a)^{-1} \beta^d x = x \pmod{p}.$$

הוכחה: תרגיל בית.

כלל 8.1 אלגוריתם הצפנת אל-גמאל

נניח שאליס (A) שולחת הודעה לבוב (B).

שלב הרכבת המפתח

1 B יוצר מספר ראשוני גדול p , ויוצר α של החבורה $(\mathbb{Z}_p^*, \times_p)$.

2 B בוחר באקראי שלם $a \in \{2, 3, \dots, p-2\}$,

3 B מחשב β כך ש- $\beta = \alpha^a \pmod{p}$.

4 B שומר את המפתח ציבורי (p, α, β) בכתובת ציבורית ושומר על a כמפתח סודי.

שלב הצפנה

5 אליס (A) קוראת את המפתח ציבורי (p, α, β) מהכתובת ציבורית.

6 A בוחרת באקראי שלם $d \in \{2, 3, \dots, p-2\}$.

7 כדי להצפין הודעה x כאשר $0 \leq x < p$, אליס (A) מחשבת $y_1 = \alpha^d \pmod{p}$ ו- $y_2 = \beta^d x \pmod{p}$.

8 A שולחת הטקסט מוצפן (y_1, y_2) ל- B .

9 כדי לפענח את הטקסט מוצפן (y_1, y_2) ב- B משמש המפתח הסודי a כדי לחשב את $x = ((y_1)^a)^{-1} y_2 \pmod{p}$.

דוגמה 8.1 הצפנת אל-גמאל

נניח כי אליס שולחת הטקסט גלוי $x = 123$. בוב בוחר במספר ראשוני $p = 727$, יוצר $\alpha = 80$ ומפתח סודי $a = 6$. אליס בוחרת ב- $d = 7$. מצאו את הטקסט מוצפן.

פתרון:

$$\beta = \alpha^a \pmod{p} = 80^6 \pmod{727} = 514.$$

$$y_1 = \alpha^d \pmod{p} = 80^7 \pmod{727} = 408, \quad y_2 = \beta^d x \pmod{p} = 514^7 \cdot 123 \pmod{727} = 390.$$

דוגמה 8.2 הצפנת אל-גמאל

נניח כי בוב מקבל את הטקסט מוצפן $(y_1, y_2) = (408, 390)$. בוב בחר במספר ראשוני $p = 727$, יוצר $\alpha = 80$ ומפתח סודי $a = 6$. ואליס בחרה ב- $d = 7$. פענחו את הטקסט מוצפן.

פתרון:

$$\beta = \alpha^a \pmod{p} = 80^6 \pmod{727} = 514.$$

$$x = ((y_1^a)^{-1}) y_2 \pmod{p} = ((408^6)^{-1}) \cdot 390 \pmod{727}$$

בעזרת משפט פרמה,

$$(408^6)^{-1} \pmod{727} = 408^{727-1-6} \pmod{727} = 408^{720} \pmod{727} = 375.$$