

## מבוא להצפנה – תרגיל 2

1.

נחפש קודם את אורך המפתח. נחשב את מספר ההתאמות כשמזיזים את הטקסט בשני מקומות ובשלושה מקומות:

0	1	2	2	1	2	2	1	0	2	2	1	2	1	1
		0	1	2	2	1	2	2	1	0	2	2	1	1
			0	1	2	2	1	2	2	1	0	2	2	1

עבור שני מקומות יש 3 התאמות ועבור שלושה מקומות 7. מספר ההתאמות הגדול יותר מסמן את אורך המפתח הסביר ביותר, לכן אורך המפתח הוא 3.

נחלק את ההודעה לבלוקים של 3 אותיות לפי:

0	1	2		2	1	2		2	1	0		2	2	1		2	1	1
---	---	---	--	---	---	---	--	---	---	---	--	---	---	---	--	---	---	---

נחפש עכשיו את המפתח.

לפי הנתון, ווקטורי התדירות  $A_i$  הם:

$$A_0 = [0.7, 0.2, 0.1]$$

$$A_1 = [0.1, 0.7, 0.2]$$

$$A_2 = [0.2, 0.1, 0.7]$$

האותיות הראשונות של הבלוקים הם:

0      2      2      2      2

יש לנו 5 אותיות ראשונות.

1 מתוכן היא האות 0.

0 מתוכן הן האות 1.

4 מתוכן הן האותיות 2.

לכן, ווקטור התדירויות יהיה:

$$V_1 = \left[\frac{1}{5}, \frac{0}{5}, \frac{4}{5}\right] = [0.2, 0, 0.8]$$

נחשב כעת את המכפלות הסקלריות:

$$A_0 \cdot V_1 = [0.7, 0.2, 0.1] \cdot [0.2, 0, 0.8] = 0.22$$

$$A_1 \cdot V_1 = [0.1, 0.7, 0.2] \cdot [0.2, 0, 0.8] = 0.18$$

$$A_2 \cdot V_1 = [0.2, 0.1, 0.7] \cdot [0.2, 0, 0.8] = 0.6$$

הערך המקסימלי הוא עבור  $i=2$  ולכן האות הראשונה של המפתח היא 2.

האותיות השניות של הבלוקים הם:

1      1      1      2      1

יש לנו 5 אותיות שניות.

0 מתוכן הן האות 0.

4 מתוכן הן האות 1.

1 מתוכן היא האותיות 2.

לכן, ווקטור התדירויות יהיה:

$$V_2 = \left[\frac{0}{5}, \frac{4}{5}, \frac{1}{5}\right] = [0, 0.8, 0.2]$$

נחשב כעת את המכפלות הסקלריות:

$$A_0 \cdot V_2 = [0.7, 0.2, 0.1] \cdot [0, 0.8, 0.2] = 0.18$$

$$A_1 \cdot V_2 = [0.1, 0.7, 0.2] \cdot [0, 0.8, 0.2] = 0.6$$

$$A_2 \cdot V_2 = [0.2, 0.1, 0.7] \cdot [0, 0.8, 0.2] = 0.22$$

הערך המקסימלי הוא עבור  $i=1$  ולכן האות השנייה של המפתח היא 1.

האותיות השלישיות של הבלוקים הם:

2      2      0      1      1

יש לנו 5 אותיות שניות.

1 מתוכן היא האות 0.

2 מתוכן הן האות 1.

2 מתוכן היא האותיות 2.

לכן, ווקטור התדירויות יהיה:

$$V_2 = [\frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{2}{5}] = [0.2, 0.4, 0.4]$$

נחשב כעת את המכפלות הסקלריות:

$$A_0 \cdot V_3 = [0.7, 0.2, 0.1] \cdot [0.2, 0.4, 0.4] = 0.26$$

$$A_1 \cdot V_3 = [0.1, 0.7, 0.2] \cdot [0.2, 0.4, 0.4] = 0.38$$

$$A_2 \cdot V_3 = [0.2, 0.1, 0.7] \cdot [0.2, 0.4, 0.4] = 0.36$$

הערך המקסימלי הוא עבור  $i=1$  ולכן האות השלישית של המפתח היא 1.

מפתח הצפנה הוא:

2      1      1

ולכן מפתח הפענוח הוא:

$$2+2 \quad 1+1 \quad 1+1 \quad = \quad \boxed{1 \quad 2 \quad 2}$$

ההודעה המוצפנת:

0   1   2      2   1   2      2   1   0      2   2   1      2   1   1

פענוח של ההודעה:

1   0   1      0   0   1      0   0   2      0   1   0      0   0   0

2.

כדי למצוא את מטריצת המפתח, צריך לחלק את טקסט המקור לבלוקים של שתי אותיות ולמצוא שני בלוקים שאיתם ניתן לבנות מטריצה הפיכה, ז"א עם דטרמיננטה זרה ל 26.

ניקח את הבלוקים  $\begin{bmatrix} 21 \\ 8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ i \end{bmatrix}$  ואת  $\begin{bmatrix} 2 \\ 19 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c \\ t \end{bmatrix}$  ומקבלים את המטריצה  $P = \begin{bmatrix} 21 & 2 \\ 8 & 19 \end{bmatrix}$  כך ש-  $\begin{vmatrix} 21 & 2 \\ 8 & 19 \end{vmatrix} = 19$  ולכן המטריצה P הפיכה.

נבנה עכשיו את המטריצה הבנויה מהבלוקים המוצפנים המתאימים:

$\begin{bmatrix} 11 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \\ g \end{bmatrix}$  ואת  $\begin{bmatrix} 11 \\ 25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \\ z \end{bmatrix}$  ומקבלים את המטריצה  $Q = \begin{bmatrix} 11 & 11 \\ 25 & 6 \end{bmatrix}$ .

תהי K מטריצת מפתח ההצפנה:  $Q = KP \Rightarrow K = QP^{-1}$ .

$$P^{-1} = \frac{1}{19} \begin{bmatrix} 19 & -2 \\ -8 & 21 \end{bmatrix} = 11 \begin{bmatrix} 19 & -2 \\ -8 & 21 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 16 & 23 \end{bmatrix}$$

$$K = QP^{-1} = \begin{bmatrix} 11 & 11 \\ 25 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 16 & 23 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 11 \\ 17 & 4 \end{bmatrix}$$

מטריצת הפענוח היא:

$$K^{-1} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 4 & -11 \\ -17 & 5 \end{bmatrix} = 7 \begin{bmatrix} 4 & -11 \\ -17 & 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 11 & 9 \end{bmatrix}$$

3.

a.

1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1

קיבלנו מחזור של 7.

אורך המחזור המקסימלי הוא:  $2^6 - 1 = 63$  ולכן אורך המחזור אינו מקסימלי.

b.

יש שלושה אפסים עוקבים ולכן אורך נוסחת הנסיגה הוא לפחות 4.

אורך המחזור המקסימלי עבור נוסחת נסיגה באורך 4 הוא:  $2^4 - 1 = 15$  ואורך נוסחת הנסיגה הוא לפחות 3.

$m = 3$ :

משתמשים בסיביות 1 0 0 0 1 1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{cases} c_0 = 0 \\ c_2 = 1 \\ c_1 = 1 \end{cases}$$

קיבלנו את הנוסחה -  $Z_{n+3} = Z_{n+1} \oplus Z_{n+2}$ .

נבדוק אם הנוסחה יוצרת את הסדרה של המפתח:

1 0 0 0 0 0 0 0

בסדרת המפתח הסיביות האחרונות הן 1 ולא 0.

$m = 4$ :

משתמשים בסיביות 1 0 0 0 1 1 1 1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{cases} c_0 = 1 \\ c_1 = 1 \\ c_2 = 1 \\ c_1 + c_3 = 1 \end{cases} = \begin{cases} c_0 = c_1 = c_2 = 1 \\ 1 + c_3 = 1 \end{cases} = \begin{cases} c_0 = c_1 = c_2 = 1 \\ c_3 = 0 \end{cases}$$

קיבלנו את הנוסחה -  $Z_{n+4} = Z_n \oplus Z_{n+1} \oplus Z_{n+2}$ .

נבדוק אם הנוסחה יוצרת את הסדרה של המפתח:

1 0 0 0 1 0 1 1

בסדרת המפתח הסיביות היא 1 ולא 0.

$m = 5$  :

משתמשים בסיביות 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{cases} c_0 + c_4 = 1 \\ c_3 = 1 \\ c_2 + c_4 = 1 \\ c_1 + c_3 = 0 \\ c_0 + c_2 + c_4 = 0 \end{cases} = \begin{cases} c_0 + c_4 = 1 \\ c_3 = 1 \\ c_2 + c_4 = 1 \\ c_1 + 1 = 0 \\ c_0 + 1 = 0 \end{cases} = \begin{cases} 1 + c_4 = 1 \\ c_3 = c_1 = c_0 = 1 \\ c_2 + c_4 = 1 \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} c_4 = 0 \\ c_3 = c_1 = c_0 = 1 \\ c_2 + 0 = 1 \end{cases} = \begin{cases} c_4 = 0 \\ c_3 = c_1 = c_0 = c_2 = 1 \end{cases}$$

קיבלנו את הנוסחה -  $Z_{n+5} = Z_n \oplus Z_{n+1} \oplus Z_{n+2} \oplus Z_{n+3}$ .  
נבדוק אם הנוסחה יוצרת את הסדרה של המפתח:

1 0 0 0 1 1 1 0 1 1

בסדרת המפתח הסיביות האחרונות הן 100 ולא 011.

- ולכן, אין סדרה באורך קטנה מ-6 היוצרת את סדרת המפתח.

4.

a.

ההצפנה היא  $C_i = E_K(C_{i-1}) \oplus P_i$   
לכן, הפענוח הוא  $P_i = E_K(C_{i-1}) \oplus C_i$

בוב קיבל את סדרת הבלוקים:  $C_1 C_2 C_3 C_4 C_5$ .  
נסמן את ה-  $C_3$  הראשון כ-  $C_3$  ואת השני כ-  $C_3'$ .

תהליך הפענוח של בוב:

$$P_1 = E_K(C_0) \oplus C_1$$

$$P_2 = E_K(C_1) \oplus C_2$$

$$P_3 = E_K(C_2) \oplus C_3$$

$$P_4' = E_K(C_3) \oplus C_3'$$

$$P_5' = E_K(C_3') \oplus C_4$$

$$P_6 = E_K(C_4) \oplus C_5$$

אחרי הפענוח, בוב מקבל את ההודעה:  $P_1 P_2 P_3 P_4' P_5' P_6$

b.

איב הקשיבה לתקשורת בין אליס לבוב.  
לכן, איב יודעת את סדרת הבלוקים:  $C_1 C_2 C_3 C_4 C_5$  בנוסף איב יודעת את  
 $P_1 P_2 P_3$  . ואת המפתח  $K$ .  
בנוסף לאיב יש גם סדרת הבלוקים שנייה שנשלחה בין אליס לבוב:  
 $Q_1 Q_2 Q_3 \dots Q_n$ .  
נראה אין איב מצליחה לפענח את סדרת הבלוקים השנייה שנשלחה.

ראשית, נראה איך היא יכולה לגלות את הבלוק ההתחלתי.

$$P_i = E_K(C_{i-1}) \oplus C_i$$

נציב:

$$P_1 = E_K(C_0) \oplus C_1$$

$$P_1 \oplus C_1 = E_K(C_0)$$

$$D_K(P_1 \oplus C_1) = C_0$$

וכך איב גילתה את הבלוק ההתחלתי  $C_0$  (בגלל שהיא יודעת את  $C_1$ ,  $E_K$  ו-  $P_1$ ).



נראה כעת את הדרך שבה איב מפענחת את סדרת הבלוקים השנייה:  $T_i$  זה פענוח  $Q_i$  ו-  $C_0 = Q_0$ .

$$\begin{aligned} T_1 &= E_K(Q_0) \oplus Q_1 \\ T_2 &= E_K(Q_1) \oplus Q_2 \\ &\vdots \\ T_n &= E_K(Q_{n-1}) \oplus Q_n \end{aligned}$$

.c

נתון -  $m = 4$ , ו-  $E_K(abcd) = abcd \oplus 1111$ .

נציין את ההודעה:

1 0 1 1      0 1 0 0      0 0 1 1

$X =$  1 0 0 1 עם בלוק התחלתי

$$(1001 \oplus 1111) \oplus 1011 = 1101$$

$$(1011 \oplus 1111) \oplus 0100 = 0000$$

$$(0100 \oplus 1111) \oplus 0011 = 1000$$

ההודעה המוצפנת היא:

1 1 0 1      0 0 0 0      1 0 0 0