

עיבוד שפה טבעית – פתרון תרגיל מספר 3

**שאלה 1.**

א. ערכי  $\alpha$  שהתקבלו:

Time (t)	1	2	3	4	5
$\alpha_{CP}(t)$	1.0	0.42	0.0924	0.026964	0.01211868
$\alpha_{IP}(t)$	0.0	0.18	0.0756	0.015876	0.00564732

מכאן, סה"כ ההסתברות לסדרת הסמלים היא

$$P(O|\mu) = 0.01211868 + 0.00564732 = 0.017766$$

ב. נפתור באמצעות אלגוריתם ויטרבי –

$$\delta_{CP}(1) = \pi_{CP} = 1$$

$$\delta_{IP}(1) = \pi_{IP} = 0$$

$$\delta_{CP}(2) = \max\{\delta_{CP}(1)a_{CP,CP}b_{CP,col}, \delta_{IP}(1)a_{IP,CP}b_{IP,col}\} = \max\{1 \cdot 0.7 \cdot 0.6, 0 \cdot 0.5 \cdot 0.1\} = 0.42$$

$$\psi_{CP}(2) = CP$$

$$\delta_{IP}(2) = \max\{\delta_{CP}(1)a_{CP,IP}b_{CP,col}, \delta_{IP}(1)a_{IP,IP}b_{IP,col}\} = \max\{1 \cdot 0.3 \cdot 0.6, 0 \cdot 0.5 \cdot 0.1\} = 0.18$$

$$\psi_{IP}(2) = CP$$

$$\delta_{CP}(3) = \max\{\delta_{CP}(2)a_{CP,CP}b_{CP,ice\_t}, \delta_{IP}(2)a_{IP,CP}b_{IP,ice\_t}\} = \max\{0.42 \cdot 0.7 \cdot 0.1, 0.18 \cdot 0.5 \cdot 0.7\} = \max\{0.0294, 0.063\} = 0.063$$

$$\psi_{CP}(3) = IP$$

$$\delta_{IP}(3) = \max\{\delta_{CP}(2)a_{CP,IP}b_{CP,ice\_t}, \delta_{IP}(2)a_{IP,IP}b_{IP,ice\_t}\} = \max\{0.42 \cdot 0.3 \cdot 0.1, 0.18 \cdot 0.5 \cdot 0.7\} = \max\{0.0126, 0.063\} = 0.063$$

$$\psi_{IP}(3) = IP$$

נמשיך באופן דומה ונקבל –

$$\delta_{CP}(4) = \max\{0.063 \cdot 0.7 \cdot 0.3, 0.063 \cdot 0.5 \cdot 0.2\} = \max\{0.01323, 0.0063\} = 0.01323$$

$$\psi_{CP}(4) = CP$$

$$\delta_{IP}(4) = \max\{0.063 \cdot 0.3 \cdot 0.3, 0.063 \cdot 0.5 \cdot 0.2\} = \max\{0.00567, 0.0063\} = 0.0063$$

$$\psi_{IP}(4) = IP$$

$$\delta_{CP}(5) = \max\{0.01323 \cdot 0.7 \cdot 0.6, 0.0063 \cdot 0.5 \cdot 0.1\} = \max\{0.0055566, 0.000315\} = 0.0055566$$

$$\psi_{CP}(5) = CP$$

$$\delta_{IP}(5) = \max\{0.01323 \cdot 0.3 \cdot 0.6, 0.0063 \cdot 0.5 \cdot 0.1\} = \max\{0.0023814, 0.000315\} = 0.0023814$$

$$\psi_{IP}(5) = CP$$

נמצא את סדרת המצבים:

$$x_5 = \arg \max\{CP : 0.005556, IP : 0.0023814\} = CP$$

$$x_4 = \psi_{CP}(5) = CP$$

$$x_3 = \psi_{CP}(4) = CP$$

$$x_2 = \psi_{CP}(3) = IP$$

$$x_1 = \psi_{CP}(2) = CP$$

סדרת המצבים המתקבלת היא  $CP \rightarrow IP \rightarrow CP \rightarrow CP \rightarrow CP$ .

## שאלה 2:

א. הטבלה המתקבלת:

	1	2	3	4	5
1	$\alpha_{NP}=0.01587$ (15)	-- (13)	-- (10)	-- (6)	$\alpha_S=1$ (1)
2		$\alpha_V=0.0015876$ (14)	$\alpha_{VP}=0.0054$ (11)	$\alpha_V=0.0126$ (7)	$\alpha_{VP}=0.1$ (2)
3			$\alpha_{NP}=0.00882$ (12)	-- (8)	$\alpha_{NP}=0.07$ (3)
4				$\alpha_P=0.0015876$ (9)	$\alpha_{PP}=0.00882$ (4)
5					$\alpha_{NP}=0.00882$ (5)
	astronomers	saw	stars	with	ears

פירוט החישובים:

$$(1) \quad \alpha_j(1,5)=1 \quad j \neq S \quad \text{ועבור כל } S \quad \alpha_S(1,5)=1 \quad \text{ולכן } S \text{ - רק ב-}$$

$$(2) \quad -$$

$$\alpha_j(2,5) = \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) +$$

$$\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) =$$

$$\sum_{f,g} \alpha_f(1,5) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,1)$$

(a) - רק  $f=0$  רלוונטי.

(b) -  $m-a-g=VP=1$  - רק  $g=NP$  -  $j=VP$  רלוונטים. מכאן -

$$\alpha_{VP}(2,5) = \alpha_S(1,5) P(N^S \rightarrow N^{NP} N^{VP}) \beta_{NP}(1,1) = 1 \cdot 1 \cdot 0.1 = 0.1$$

- (3)

$$\alpha_j(3,5) = \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) +$$

$$\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) =$$

$$\sum_{f,g} [\alpha_f(1,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,2) + \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,2)]$$

(a) – רק  $g=V$  או  $g=NP$  רלוונטי.(b) – רק  $f=VP$  רלוונטי.(c) – בעקבות (a) ו- (b) רק הכלל  $VP \rightarrow V NP$  רלוונטי. לכן  $j=NP$ .

נקבל:

$$\alpha_{NP}(3,5) = \alpha_{VP}(2,5)P(N^{VP} \rightarrow N^V N^{NP}) \beta_V(2,2) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 1 = 0.07$$

- (4)

$$\alpha_j(4,5) = \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) +$$

$$\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) =$$

$$\sum_{f,g} [\alpha_f(1,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,3) + \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,3) +$$

$$\alpha_f(3,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(3,3)]$$

(a) – רק  $g=S$  רלוונטי.

(b) – בעקבות (a) אין כלל רלוונטי.

(c) – רק  $g=VP$  רלוונטי.(d) – רק  $f=VP$  רלוונטי.(e) – בעקבות (c) ו- (d) רק  $j=PP$  רלוונטי.(f) – רק  $g=NP$  רלוונטי.(g) – רק  $f=NP$  רלוונטי.(h) – בעקבות (f) ו- (g) רק  $j=PP$  רלוונטי.

נקבל:

$$\alpha_{PP}(4,5) = \alpha_{VP}(2,5)P(N^{VP} \rightarrow N^{VP} N^{PP}) \beta_{VP}(2,3) +$$

$$\alpha_{NP}(3,5)P(N^{NP} \rightarrow N^{NP} N^{PP}) \beta_{NP}(3,3) +$$

$$= 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.126 + 0.07 \cdot 0.4 \cdot 0.18 = 0.00882$$

- (5)

$$\begin{aligned}\alpha_j(5,5) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} [\alpha_f(1,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,4) + \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,4) + \\ &\alpha_f(3,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(3,4) + \alpha_f(4,5)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(4,4)]\end{aligned}$$

(a) – רק g=P רלוונטי.

(b) – רק f=PP רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) ו- (b) רק j=NP רלוונטי.

נקבל:

$$\alpha_{NP}(5,5) = \alpha_{PP}(4,5)P(N^{PP} \rightarrow N^P N^{NP}) \beta_P(4,4) = 0.00882 \cdot 1 \cdot 1 = 0.00882$$

– (6)

$$\begin{aligned}\alpha_j(1,4) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} \alpha_f(1,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(5,5)\end{aligned}$$

(a) – רק g=NP רלוונטי.

(b) – רק f=S רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) ו- (b) הביטוי שווה ל- 0 לכל j.

– (7)

$$\begin{aligned}\alpha_j(2,4) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(5,5) + \sum_{f,g} \alpha_f(1,4)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,1)\end{aligned}$$

(a) – רק g=NP רלוונטי.

(b) – רק f=VP רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) ו- (b) רק j=V רלוונטי.

נקבל:

$$\alpha_V(2,4) = \alpha_{VP}(2,5)P(N^{VP} \rightarrow N^V N^{NP}) \beta_{NP}(5,5) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.18 = 0.0126$$

– (8)

$$\begin{aligned} \alpha_j(3,4) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} \alpha_f(3,5) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(5,5) + \sum_{f,g} [\alpha_f(1,4) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,2) + \\ &\alpha_f(2,4) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,2)] = 0 \end{aligned}$$

(a) – רק  $g=NP$  רלוונטי.

(b) – רק  $f=NP$  רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) – 1 (b) אין כלל רלוונטי.

(d) – רק  $f=V$  רלוונטי.

(e) – בעקבות (d) אין כלל רלוונטי.

– (9)

$$\begin{aligned} \alpha_j(4,4) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} \alpha_f(4,5) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(5,5) + \sum_{f,g} [\alpha_f(1,4) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,3) + \\ &\alpha_f(2,4) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,3) + \alpha_f(3,4) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(3,3)] \end{aligned}$$

(a) – רק  $g=NP$  רלוונטי.

(b) – רק  $f=PP$  רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) – 1 (b) רק  $j=P$  רלוונטי.

(d) – רק  $g=S$  רלוונטי.

(e) – בעקבות (d) אין כלל רלוונטי.

(f) – רק  $f=V$  רלוונטי.

(g) – בעקבות (f) אין כלל רלוונטי.

נקבל:

$$\begin{aligned} \alpha_P(4,4) &= \alpha_{PP}(4,5)P(N^{PP} \rightarrow N^P N^{NP}) \beta_{NP}(5,5) = \\ &0.00882 \cdot 1 \cdot 0.18 = 0.0015876 \end{aligned}$$

– (10)

$$\begin{aligned} \alpha_j(1,3) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} [\alpha_f(1,4) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,4) + \alpha_f(1,5) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,5)] = 0 \end{aligned}$$

- (a) – רק  $g=P$  רלוונטי.  
 (b) – מ – מ – (a) אין כלל רלוונטי.  
 (c) – רק  $g=PP$  רלוונטי.  
 (d) – רק  $f=S$  רלוונטי.  
 (e) – בעקבות (c) ו- (d) אין כלל רלוונטי.  
 – (11)

$$\begin{aligned} \alpha_j(2,3) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} [\alpha_f(2,4)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,4) + \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,5)] + \\ &\sum_{f,g} \alpha_f(1,3)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,1) \end{aligned}$$

- (a) – רק  $f=V$  רלוונטי.  
 (b) – מ – מ – (a) אין כלל רלוונטי.  
 (c) – רק  $g=PP$  רלוונטי.  
 (d) – רק  $f=VP$  רלוונטי.  
 (e) – בעקבות (c) ו- (d) רק  $j=VP$  רלוונטי.  
 נקבל:

$$\alpha_{vp}(2,3) = \alpha_{vp}(2,5)P(N^{VP} \rightarrow N^{VP} N^{PP}) \beta_{pp}(4,5) = 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.18 = 0.0054$$

– (12)

$$\begin{aligned} \alpha_j(3,3) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) + \\ &\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) = \\ &\sum_{f,g} [\alpha_f(3,4)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,4) + \alpha_f(3,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(4,5)] + \\ &\sum_{f,g} [\alpha_f(1,3)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(1,2) + \alpha_f(2,3)P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(2,2)] \end{aligned}$$

- (a) – רק  $g=PP$  רלוונטי.  
 (b) – רק  $f=NP$  רלוונטי.  
 (c) – בעקבות (a) ו- (b) רק  $j=NP$  רלוונטי.  
 (d) – רק  $g=NP$  רלוונטי.  
 (e) – רק  $f=VP$  רלוונטי.  
 (f) – בעקבות (d) ו- (e) רק  $j=NP$  רלוונטי.  
 נקבל:

$$\begin{aligned}\alpha_{NP}(3,3) &= \alpha_{NP}(3,5)P(N^{NP} \rightarrow N^{NP}N^{PP})\beta_{PP}(4,5) + \\ \alpha_{VP}(2,3)P(N^{VP} \rightarrow N^V N^{NP})\beta_V(2,2) &= \\ 0.07 \cdot 0.4 \cdot 0.18 + 0.0054 \cdot 0.7 \cdot 1 &= 0.00882\end{aligned}$$

– (13)

$$\begin{aligned}\alpha_j(1,2) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(q+1,e) + \\ \sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j)\beta_g(e,p-1) &= \\ \sum_{f,g} [\alpha_f(1,3)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,3) + \alpha_f(1,4)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,4) + \\ \alpha_f(1,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,5)] &= 0\end{aligned}$$

(a) – רק g=NP רלוונטי.

(b) – רק f=S רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) - 1 (b) אין כלל רלוונטי.

– (14)

$$\begin{aligned}\alpha_j(2,2) &= \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(q+1,e) + \\ \sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q)P(N^f \rightarrow N^g N^j)\beta_g(e,p-1) &= \\ \sum_{f,g} [\alpha_f(2,3)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,3) + \alpha_f(2,4)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,4) + \\ \alpha_f(2,5)P(N^f \rightarrow N^j N^g)\beta_g(3,5)] + \sum_{f,g} \alpha_f(1,2)P(N^f \rightarrow N^g N^j)\beta_g(1,1) &= 0\end{aligned}$$

(a) – רק g=NP רלוונטי.

(b) – רק f=VP רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) - 1 (b) רק j=V רלוונטי.

(d) – רק g=NP רלוונטי.

(e) – רק f=VP רלוונטי.

(f) – בעקבות (d) - 1 (e) רק j=V רלוונטי.

נקבל:

$$\begin{aligned}\alpha_V(2,2) &= \alpha_{VP}(2,3)P(N^{VP} \rightarrow N^V N^{NP})\beta_{NP}(3,3) + \\ \alpha_{VP}(2,5)P(N^{VP} \rightarrow N^V N^{NP})\beta_{NP}(3,5) &= \\ 0.0054 \cdot 0.7 \cdot 0.18 + 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.01296 &= 0.0015876\end{aligned}$$

– (15)

$$\alpha_j(1,1) = \sum_{f,g} \sum_{e=q+1}^m \alpha_f(p,e) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(q+1,e) +$$

$$\sum_{f,g} \sum_{e=1}^{p-1} \alpha_f(e,q) P(N^f \rightarrow N^g N^j) \beta_g(e,p-1) =$$

$$\sum_{f,g} [\alpha_f(1,2) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(2,2) + \alpha_f(1,3) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(2,3) +$$

$$\alpha_f(1,4) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(2,4) + \alpha_f(1,5) P(N^f \rightarrow N^j N^g) \beta_g(2,5)]$$

(a) – רק  $g=VP$  רלוונטי.

(b) – רק  $f=S$  רלוונטי.

(c) – בעקבות (a) ו- (b) רק  $j=NP$  רלוונטי.

נקבל:

$$\alpha_{NP}(1,1) = \alpha_S(1,5) P(N^S \rightarrow N^{NP} N^{VP}) \beta_{VP}(2,5) = 1 \cdot 1 \cdot 0.01587 = 0.01587$$

ב. הסתברות המשפט:

$$P(W_{1,5} | G) = \sum_j \alpha_j(k,k) \cdot P(N^j \rightarrow W_k)$$

נבחר שרירותית  $k=1$ .

$W_k = \text{astronomers}$ , והכלל היחיד הרלוונטי הוא  $NP \rightarrow \text{astronomers}$ . נקבל:

$$P(W_{1,5} | G) = \alpha_{NP}(1,1) \cdot P(N^{NP} \rightarrow \text{astronomers}) = 0.01587 \cdot 0.1 = 0.001587$$