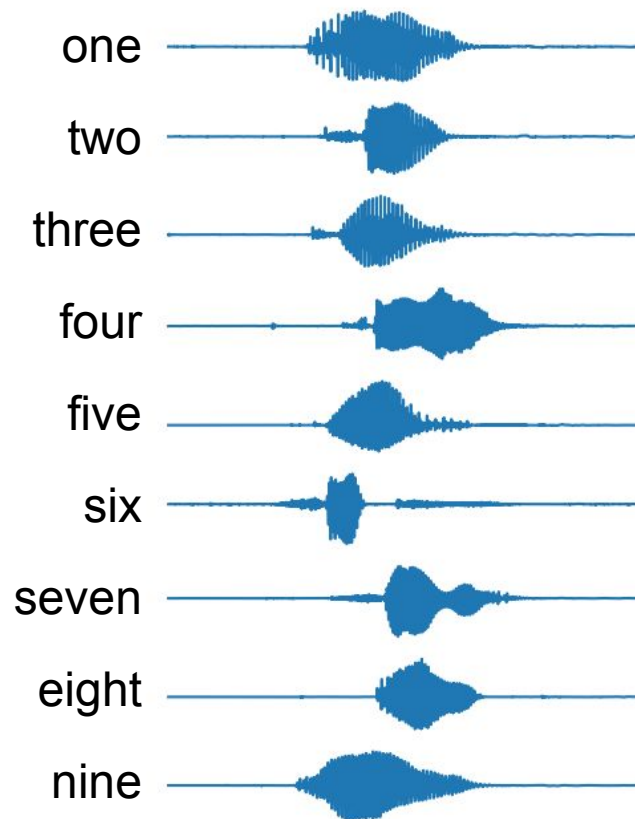


Dynamické borcení času (DTW)

Rozpoznání číslovky

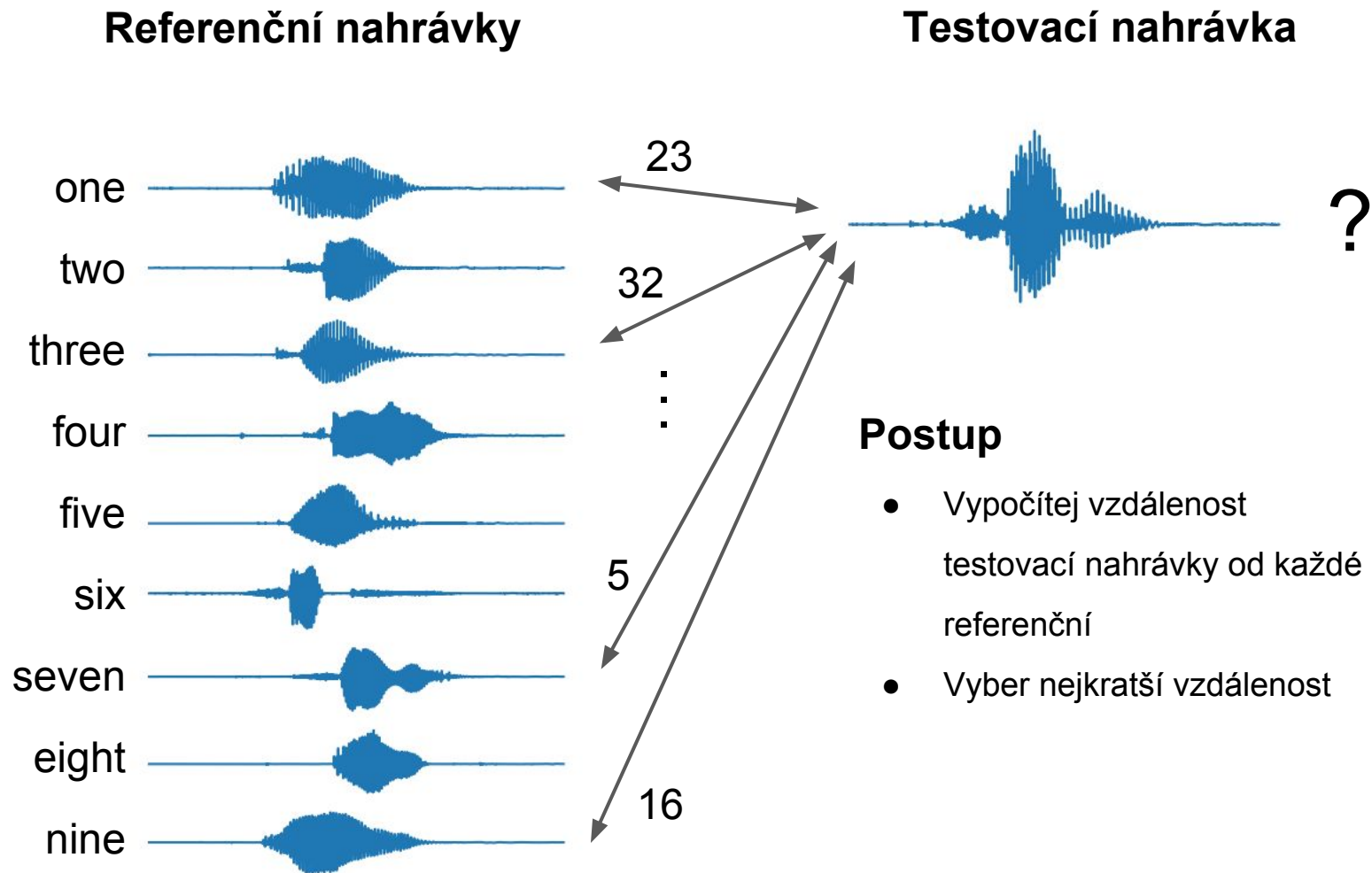
Referenční nahrávky



Testovací nahrávka

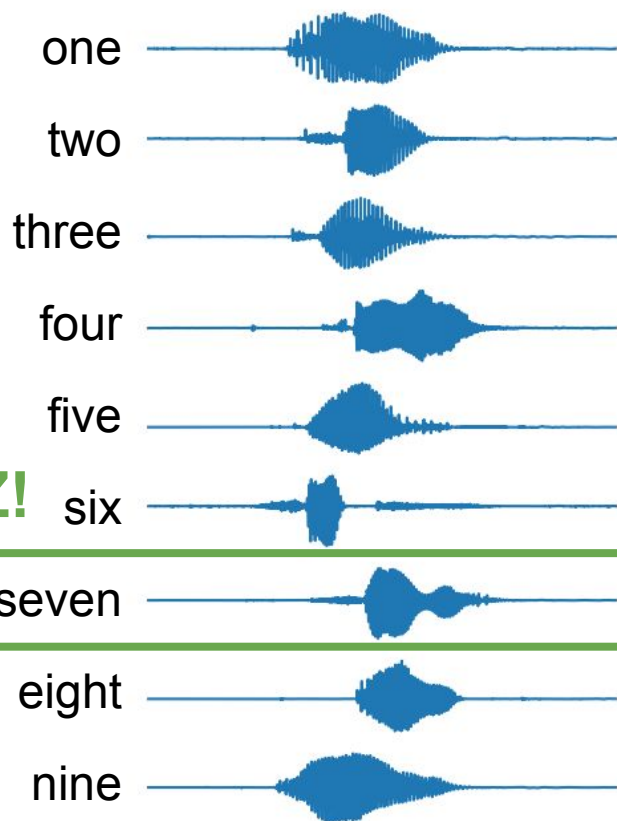


Rozpoznání číslovky

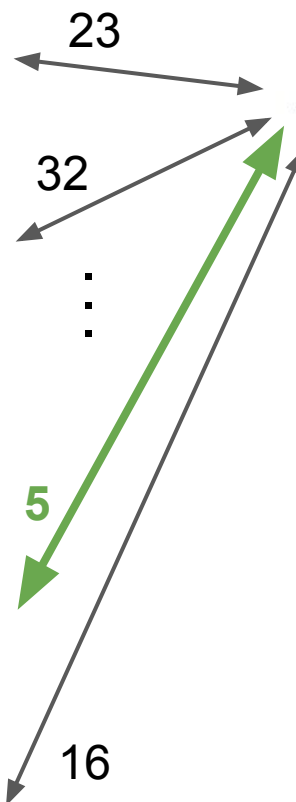


Rozpoznání číslovky

Referenční nahrávky



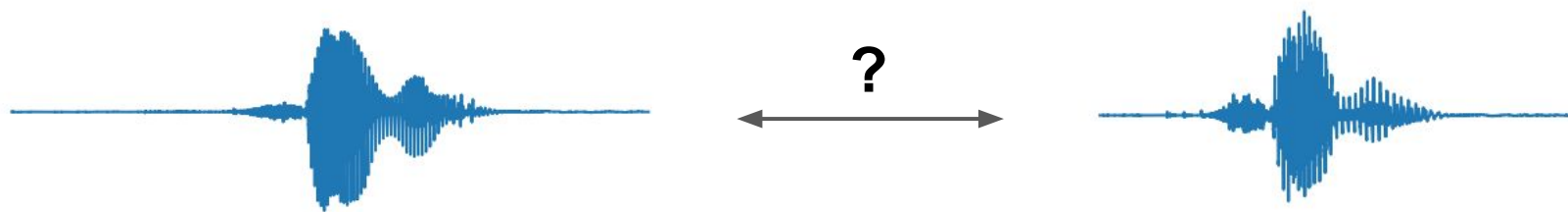
Testovací nahrávka



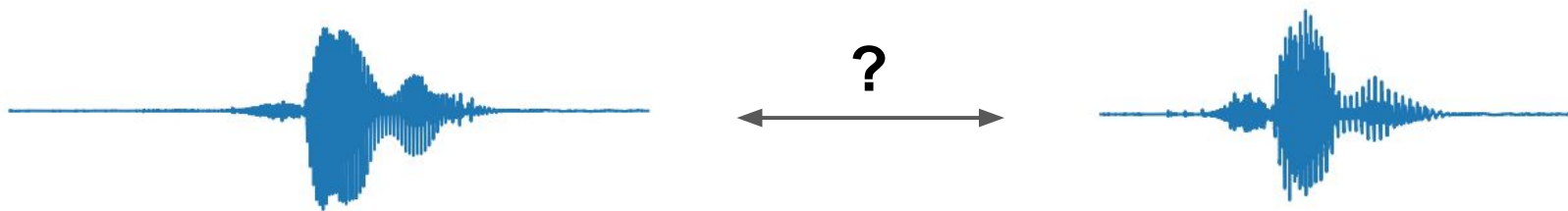
Postup

- Vypočítej vzdálenost testovací nahrávky od každé referenční
- Vyber nejkratší vzdálenost

Jak vypočítat vzdálenost dvou nahrávek?



Jak vypočítat vzdálenost dvou nahrávek?



Problémy

Nahrávky mohou mít různou délku



I jednotlivé hlásky mohou být různě natáhlé

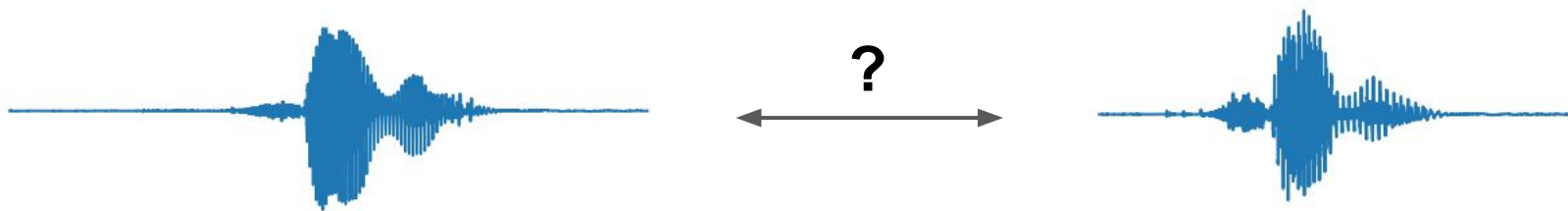


s s e e e e n

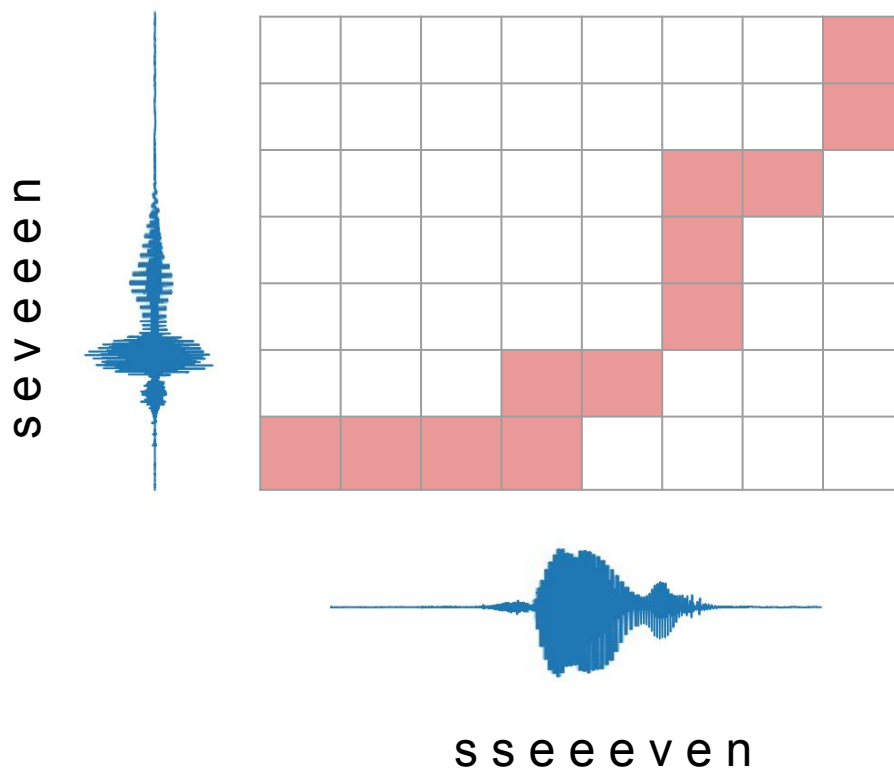


s e v e e e n

Jak vypočítat vzdálenost dvou nahrávek?

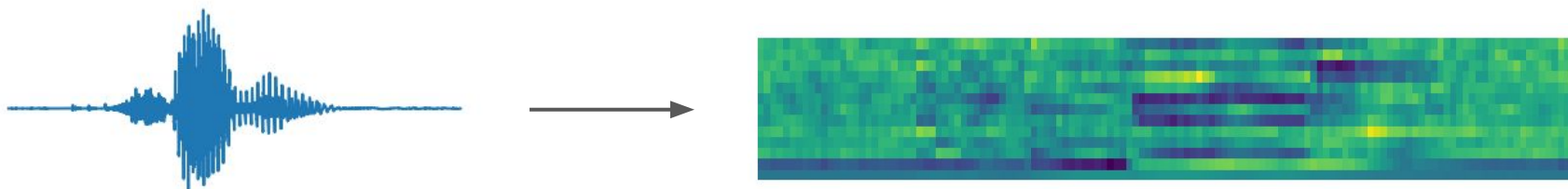


Řešení: Dynamické borcení času

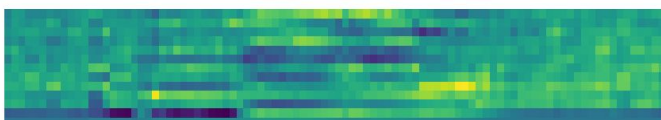
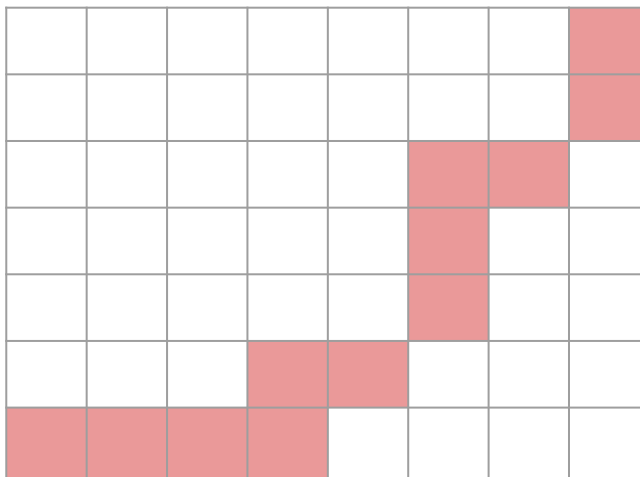
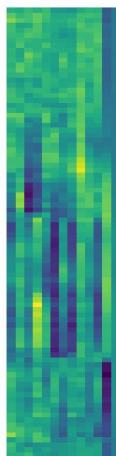


Vektory příznaků

Místo surového signálu budeme pracovat s vyextrahovanými příznaky



seen



seven

Příklad

Příznaky z první nahrávky

1	1	7	4	5	4
9	8	2	3	3	4

Příznaky z druhé nahrávky

1	8	7	4
8	2	2	4

Jaká je vzdálenost těchto dvou nahrávek?

4	4	34	25	13	1	2	0
7	2	85	72	0	10	5	13
8	2	98	85	1	17	10	20
1	8	1	0	72	34	41	25

1	1	7	4	5	4
9	8	2	3	3	4

$$\begin{aligned} D &= (1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + \\ &\quad + 2 + 0) / (6 + 4) \\ &= 7 / 10 = \mathbf{0.7} \end{aligned}$$

Matice vzdáleností

Vzdálenost
dvou vektorů:

$$\sum \left(\begin{array}{|c|} \hline 5 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline 7 \\ \hline 2 \\ \hline \end{array} \right)^2 = \sum \begin{array}{|c|} \hline (-2)^2 \\ \hline 1^2 \\ \hline \end{array} = 4 + 1 = 5$$

4	4
7	2
8	2
1	8

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25

1	1	7	4	5	4
9	8	2	3	3	4

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218	183	16	5	7	7
184	158	3	13	18	31
99	86	3	20	30	50
1	1	73	107	148	173

V každém políčku kumulovaných vzdáleností je cena nejlepší cesty do toho políčka

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

184	158	3	?		
99	86	3	20		
1	1	73	107		

3 kandidáti

Zleva: $3 + 10 = 13$

Zdola: $20 + 10 = 30$

Diagonálně: $3 + 10 + 10 = 23$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

184	158	3	13		
99	86	3	20		
1	1	73	107		

3 kandidáti

Zleva: $3 + 10 = 13$

Zdola: $20 + 10 = 30$

Diagonálně: $3 + 10 + 10 = 23$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
↓					
184					
↓					
99					
↓					
1	← 1	← 73	← 107	← 148	← 173

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
184					
99	?				
1	1	73	107	148	173

3 kandidáti

Zleva: $99 + 85 = 185$

Zdola: $1 + 85 = 86$

Diagonálně: $1 + 85 + 85 = 171$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
↓					
184					
↓					
99	86				
↓	↓				
1	← 1	← 73	← 107	← 148	← 173

3 kandidáti

Zleva: $99 + 85 = 185$

Zdola: $1 + 85 = 86$

Diagonálně: $1 + 85 + 85 = 171$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
184					
99	86	?			
1	1	73	107	148	173

3 kandidáti

Zleva: $86 + 1 = 87$

Zdola: $73 + 1 = 74$

Diagonálně: $1 + 1 + 1 = 3$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
184					
99	86	3			
1	1	73	107	148	173

3 kandidáti

Zleva: $86 + 1 = 87$

Zdola: $73 + 1 = 74$

Diagonálně: $1 + 1 + 1 = 3$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
184					
99	86	3	?		
1	1	73	107	148	173

3 kandidáti

Zleva: $3 + 17 = 20$

Zdola: $107 + 17 = 124$

Diagonálně: $73 + 17 + 17 = 107$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218					
184					
99	86	3	20		
1	1	73	107	148	173

3 kandidáti

Zleva: $3 + 17 = 20$

Zdola: $107 + 17 = 124$

Diagonálně: $73 + 17 + 17 = 107$

Matice kumulovaných vzdáleností

vzdálenosti

34	25	13	1	2	0
85	72	0	10	5	13
98	85	1	17	10	20
1	0	72	34	41	25



kumulované vzdálenosti

218	183	16	5 ← 7 ← 7		
↓	↓	↓ ↙	3 ← 13 ← 18 ← 31		
↓	↓	↓	3 ← 20 ← 30 ← 50		
↓	↓ ↘	↓ ↘	1 ← 1 ← 73 ← 107 ← 148 ← 173		

Backtracking nejlepší cesty

kumulované vzdálenosti

218	183	16	5 ←	7 ←	7
↓	↓	↓ ↙	3 ←	13 ←	18 ← 31
↓	↓	↓	3 ←	20 ←	30 ← 50
↓	↓ ↘	↘	1 ←	1 ←	73 ← 107 ← 148 ← 173

Projdeme matici odzadu po zpětných ukazatelích