() Turingův stroj 1 / 78

Turingův stroj (TS)

Cíle prezentace

- seznámit s Turingovým strojem
- předvést simulaci TS
- popsat činnost TS
- navrhnout způsob zkrácení výpočtu daného TS

2 / 78

Turingův stroj si můžeme představit jako model počítače, který se skládá z pásky, řídicí jednotky a hlavy.

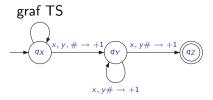
()

Přechodová funkce

$$\delta(q_X, x) = (q_X, x, +1)$$

 $\delta(q_Y, y) = (q_Y, y, +1)$
 $\delta(q_Z, \#) = (q_Z, \#, 0)$





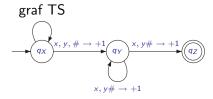
 Páska je rozdělena na jednotlivá pole. V těchto polích jsou obsaženy symboly, které se dají číst a rovněž přepisovat.

Přechodová funkce

$$\delta(q_X, x) = (q_X, x, +1)$$

 $\delta(q_Y, y) = (q_Y, y, +1)$
 $\delta(q_Z, \#) = (q_Z, \#, 0)$





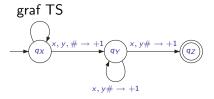
 V řídicí jednotce se udržuje aktuální stav TS. Řídicí jednotka vyhodnocuje symboly na pásce a podle přechodové funkce na ní může měnit symboly a posouvat hlavu.

Přechodová funkce

$$\delta(q_X, x) = (q_X, x, +1)$$

 $\delta(q_Y, y) = (q_Y, y, +1)$
 $\delta(q_Z, \#) = (q_Z, \#, 0)$



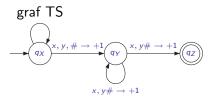


 Hlava slouží pro čtení a zápis symbolů na pásku. Posouvá se podle pokynů řídicí jednotky po pásce.

Přechodová funkce

$$\begin{array}{l} \delta(q_X,x) = (q_X,x,+1) \\ \delta(q_Y,y) = (q_Y,y,+1) \\ \delta(q_Z,\#) = (q_Z,\#,0) \end{array}$$





Graf TS slouží pro zobrazení simulace.

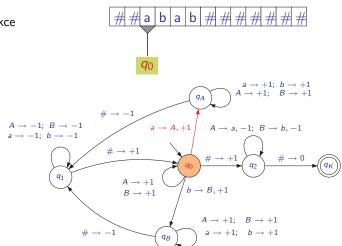
()



```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_B, b) = (q_B, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)
```

 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

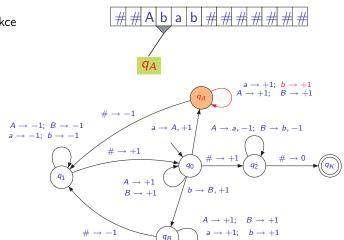
TS našel symbol a, označí jej A.

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

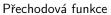
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

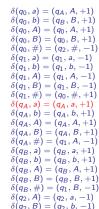


Popis

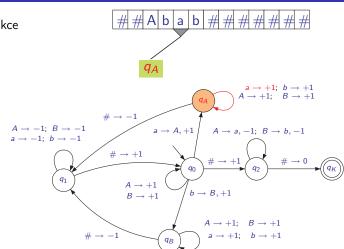
TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

() Turingův stroj 6 / 78





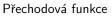
 $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

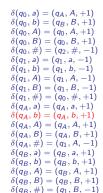


Popis

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

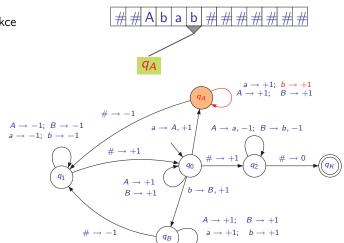
() Turingův stroj 7 / 78





 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

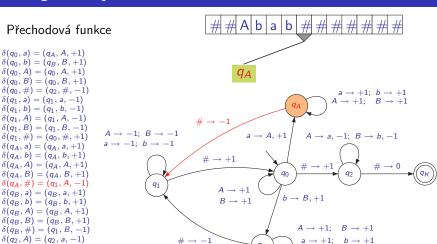
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

() Turingův stroj 8 / 78



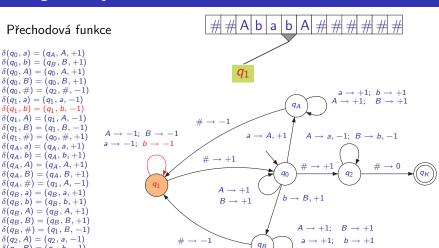
Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

• TS našel první volné místo a umisťuje na něj symbol A.

() Turingův stroj 9 / 78

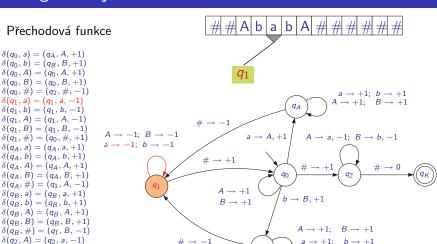
 q_B



Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

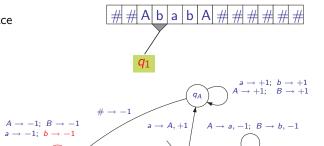
TS hledá první neoznačený symbol.

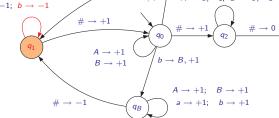
Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_B, b) = (q_B, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
```

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

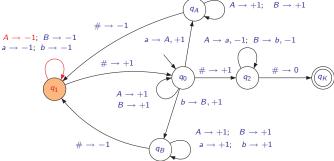
Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
```

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

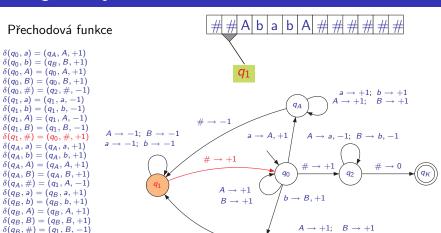




Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

()



 q_B

Turingův stroj

 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

()

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$

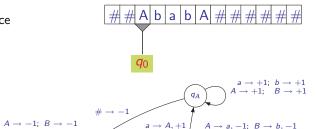
Přechodová funkce

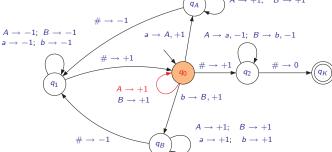
```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
```

 $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Turingův stroj

Popis

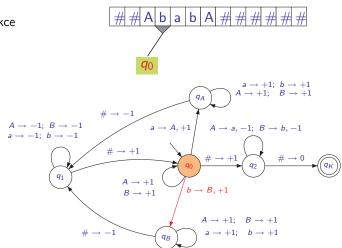
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)
```

 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

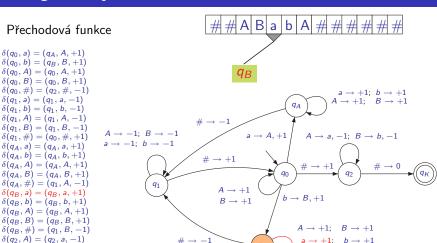


Turingův stroj

Popis

TS našel symbol b, označí jej B.

()

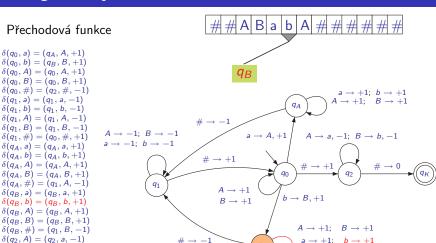


Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

() Turingův stroj 17 / 78

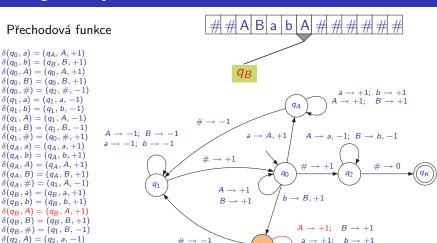


Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

() Turingův stroj 18 / 78

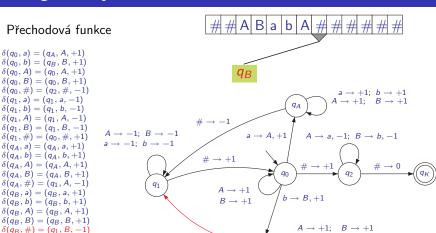


Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

() Turingův stroj 19 / 78



 $\# \rightarrow -1$

Popis

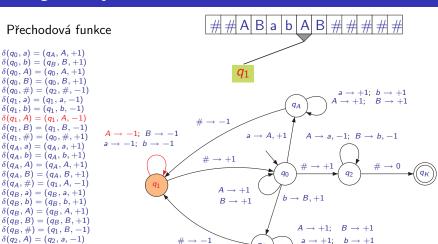
 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS našel první volné místo a umisťuje na něj symbol B.

() Turingův stroj 20 / 78

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$



 q_B

21 / 78

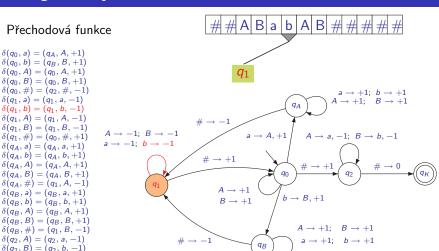
Turingův stroj

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

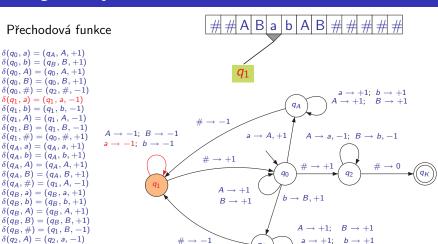
()



Popis

 $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



Popis

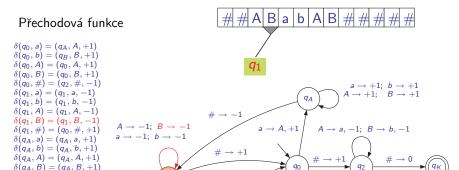
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

() Turingův stroj

 q_B

23 / 78





 $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$

 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$

$\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

 q_1

Turingův stroj

 $A \rightarrow +1$

 $B \rightarrow +1$

 q_B

 $\# \rightarrow -1$

 $b \rightarrow B, +1$

 $A \rightarrow +1; \quad B \rightarrow +1$

 $a \rightarrow +1$: $b \rightarrow +1$

Přechodová funkce $\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)$

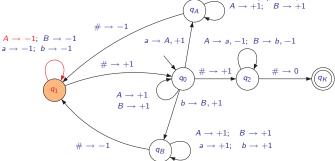
 $\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)$ $\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)$ $\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)$ $\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)$ $\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)$ $\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)$ $\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)$ $\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)$ $\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)$ $\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)$ $\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)$ $\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)$ $\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)$ $\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)$ $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$

 $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

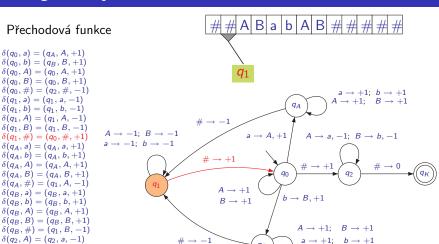
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Popis

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

26 / 78

Turingův stroj

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

()

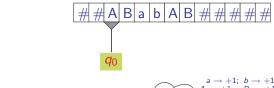
Přechodová funkce

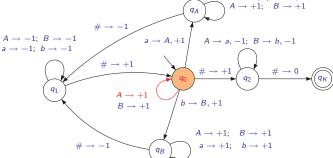
```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
```

 $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

()

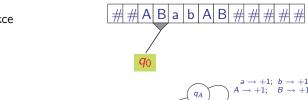
Přechodová funkce

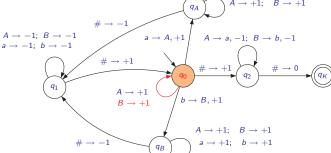
 $\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)$ $\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)$ $\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)$ $\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)$ $\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)$ $\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)$ $\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)$ $\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)$ $\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)$ $\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)$ $\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)$ $\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)$ $\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)$ $\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)$ $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$

 $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



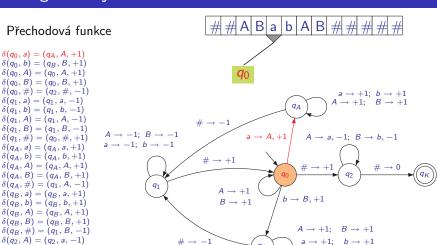


Turingův stroj

Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

()



Popis

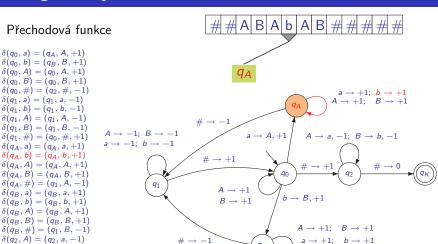
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS našel symbol a, označí jej A.

() Turingův stroj

 q_B

29 / 78



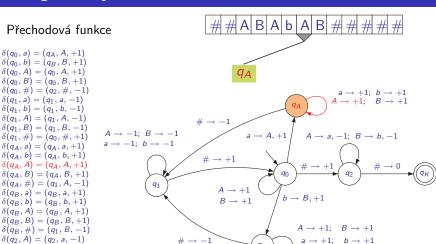
Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

() Turingův stroj 30 / 78

 q_B



Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

() Turingův stroj 31 / 78

 q_B

##A|B|A|b|A###### Přechodová funkce $\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)$ $\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)$ $\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)$ $a \rightarrow +1; b \rightarrow +1$ $\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)$ $A \rightarrow +1; B \rightarrow +1$ $\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)$ $\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)$ $\# \rightarrow -1$ $\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)$ $A \rightarrow -1$; $B \rightarrow -1$ $a \rightarrow A, +1$ $A \rightarrow a, -1; B \rightarrow b, -1$ $\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)$ $a \rightarrow -1$: $b \rightarrow -1$ $\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)$ $\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)$ $\# \rightarrow +1$ $\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)$ $\# \rightarrow 0$ $\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)$ $\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)$ q_1 $\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)$ $b \rightarrow B, +1$ $B \rightarrow +1$

 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_B, b) = (q_B, b, +1)$ $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

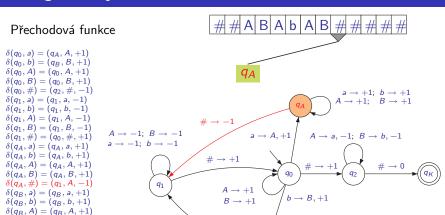
TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol A.

() Turingův stroj 32 / 78

 q_B

 $A \rightarrow +1$; $B \rightarrow +1$

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$



 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

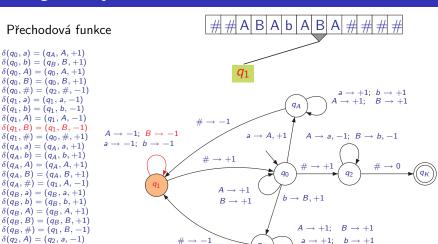
TS našel první volné místo a umisťuje na něj symbol A.

() Turingův stroj 33 / 78

 q_B

 $A \rightarrow +1$; $B \rightarrow +1$

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$



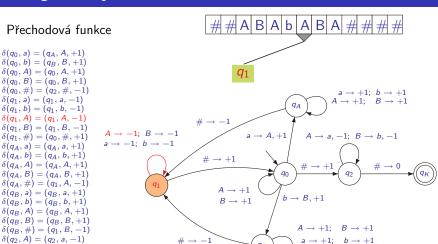
 q_B

Turingův stroj

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



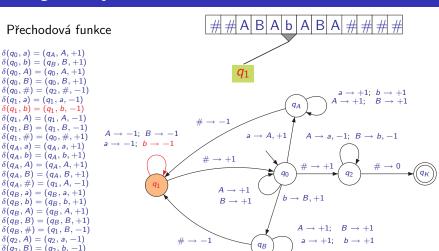
 q_B

35 / 78

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

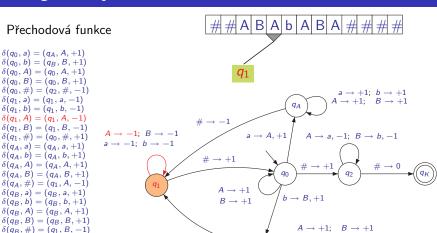
TS hledá první neoznačený symbol.



Popis

 $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

 $\# \rightarrow -1$

Popis

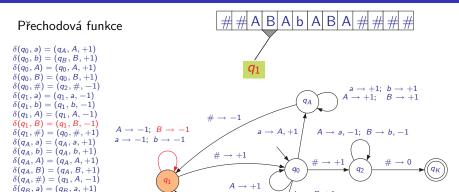
 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

() Turingův stroj

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$



 $B \rightarrow +1$

 q_B

 $\# \rightarrow -1$

 $b \rightarrow B, +1$

 $A \rightarrow +1; \quad B \rightarrow +1$

 $a \rightarrow +1$: $b \rightarrow +1$

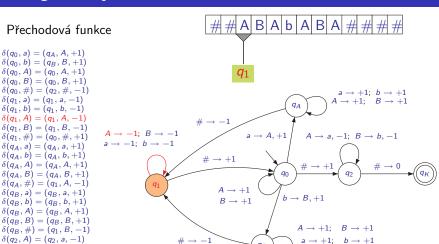
$\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$ $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

 $\delta(q_B, b) = (q_B, b, +1)$ $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$

Popis

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

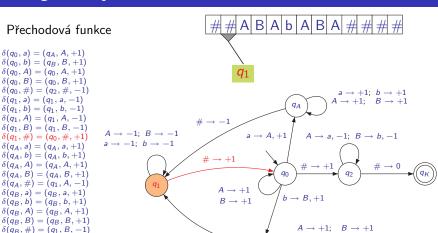
39 / 78

Turingův stroj

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

Turingův stroj

 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

()

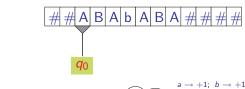
 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$

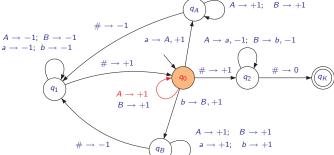
Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
```

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



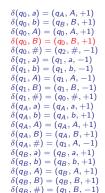


Turingův stroj

Popis

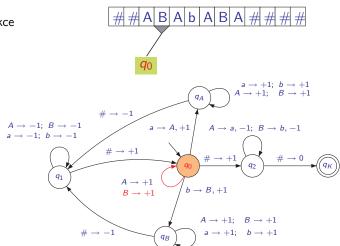
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



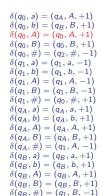
Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

() Turingův stroj

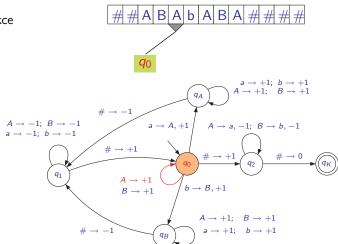
42 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

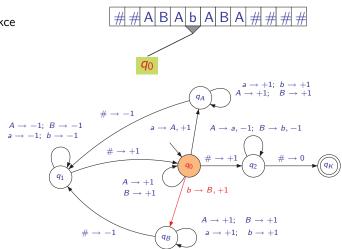
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_R, A) = (q_R, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)
```

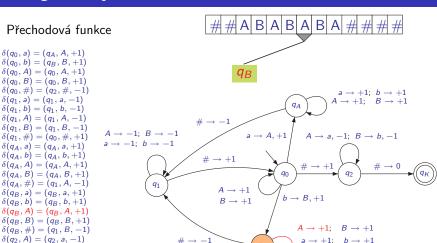
 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

TS našel symbol b, označí jej B.

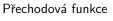


Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

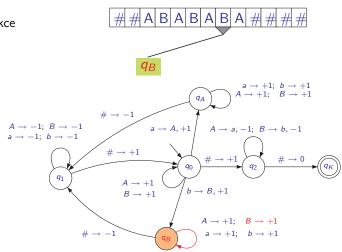
() Turingův stroj 45 / 78



 $\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)$ $\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)$ $\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)$ $\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)$ $\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)$ $\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)$ $\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)$ $\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)$ $\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)$ $\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)$ $\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)$ $\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)$ $\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)$ $\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)$ $\delta(q_R, A) = (q_R, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

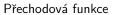
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

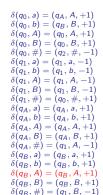


Popis

TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

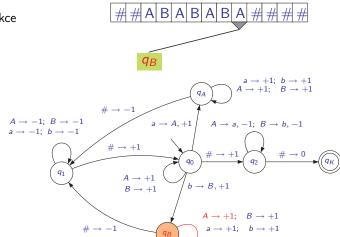
() Turingův stroj 46 / 78





 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

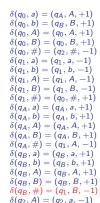


Popis

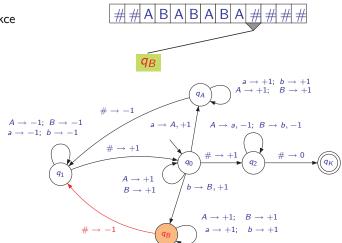
TS hledá první volnou pozici, na kterou uloží symbol B.

() Turingův stroj 47 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

TS našel první volné místo a umisťuje na něj symbol B.

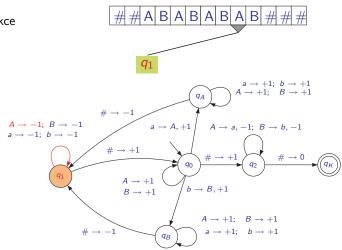
Turingův stroj 48 / 78

Přechodová funkce

 $\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)$ $\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)$ $\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)$ $\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)$ $\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)$ $\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)$ $\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)$ $\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)$ $\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)$ $\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)$ $\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)$ $\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)$ $\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)$ $\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)$ $\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)$ $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$ $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$

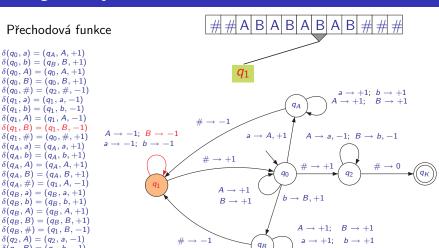
 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

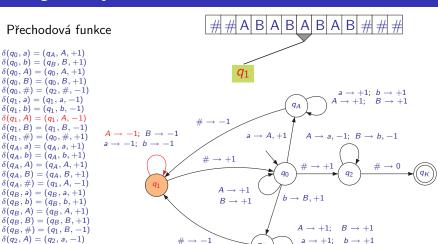


50 / 78

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

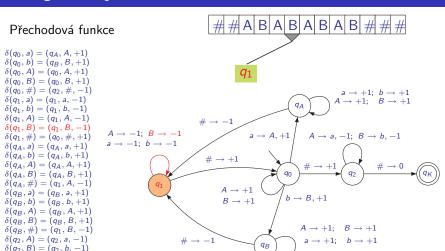
51 / 78

Turingův stroj

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

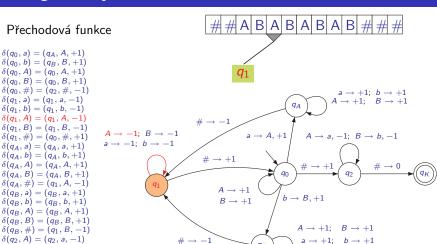


52 / 78

Popis

 $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

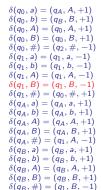
53 / 78

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

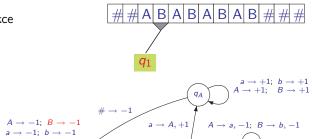
TS hledá první neoznačený symbol.

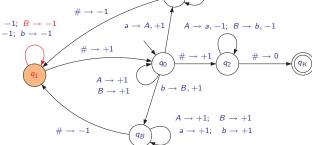
Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

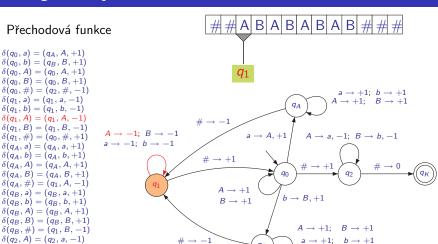
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Popis

TS hledá první neoznačený symbol.

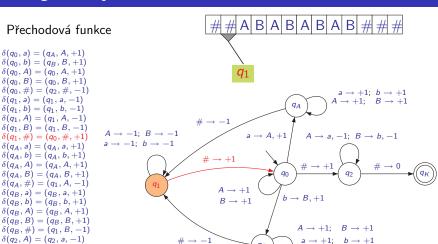


 q_B

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

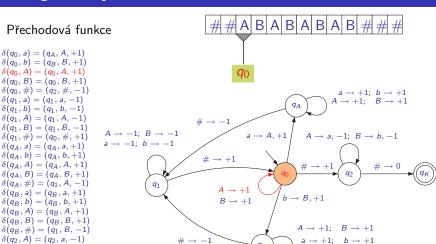
Turingův stroj

 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

 $\# \rightarrow -1$

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.

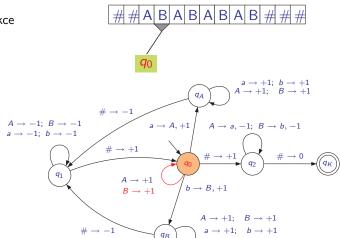
Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
```

 $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

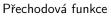
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



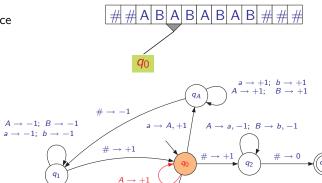
Turingův stroj

Popis

TS hledá první neoznačený symbol.



```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(a_1, B) = (a_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_R, a) = (q_R, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
```



 q_B

 $B \rightarrow +1$

Turingův stroj

 $\# \rightarrow -1$

 $b \rightarrow B, +1$

 $A \rightarrow +1; \quad B \rightarrow +1$

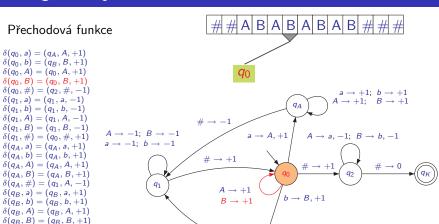
 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$

$\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$ $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

 $\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)$ $\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)$

Popis

TS hledá první neoznačený symbol.



 $\# \rightarrow -1$

 q_B

Turingův stroj

 $A \rightarrow +1; \quad B \rightarrow +1$

 $a \rightarrow +1; \quad b \rightarrow +1$

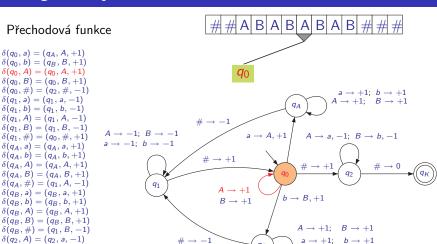
60 / 78

Popis

 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

TS hledá první neoznačený symbol.



 q_B

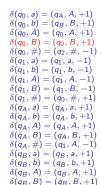
61 / 78

Popis

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

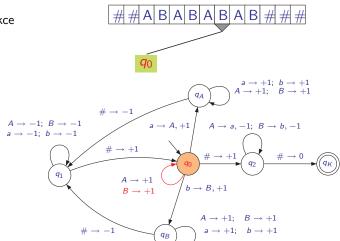
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce



 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

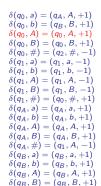


Turingův stroj

Popis

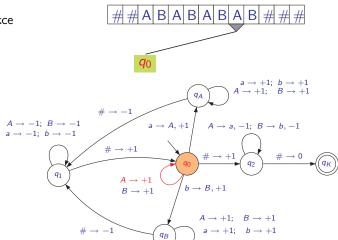
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce



 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

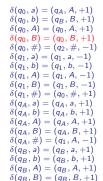


Turingův stroj

Popis

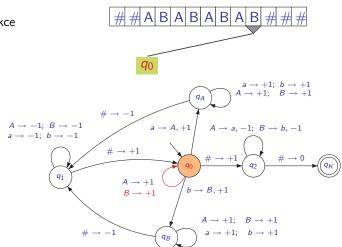
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce



 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

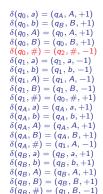


Turingův stroj

Popis

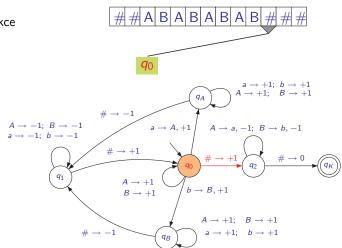
TS hledá první neoznačený symbol.

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

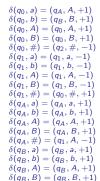


Popis

Všechny vstupní symboly jsou již označeny.

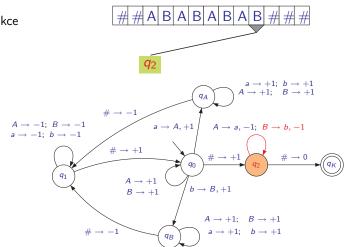
Turingův stroj 65 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

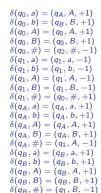


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

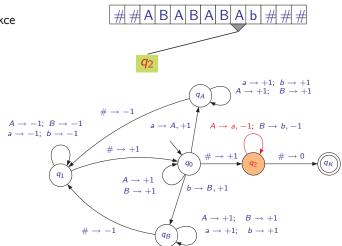
Turingův stroj 66 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

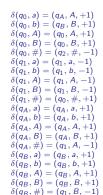


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

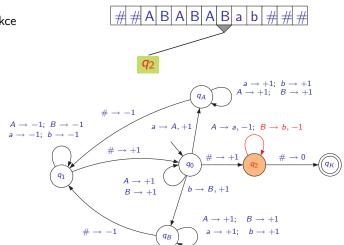
Turingův stroj 67 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

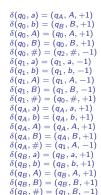


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

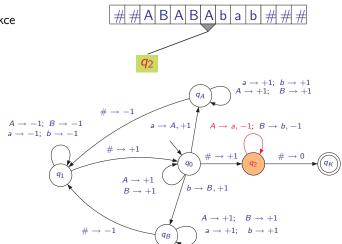
Turingův stroj 68 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

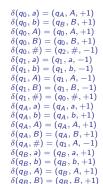


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

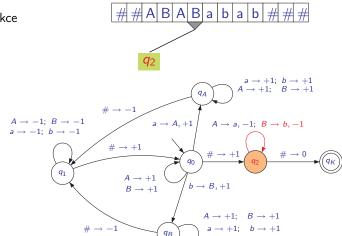
Turingův stroj 69 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)$ $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

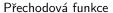
 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

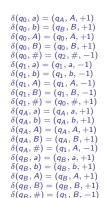


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

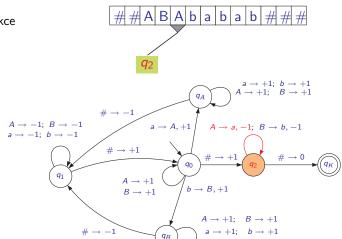
() Turingův stroj 70 / 78





 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

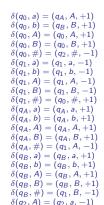


Popis

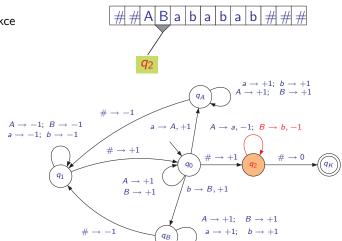
Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

() Turingův stroj 71 / 78

Přechodová funkce



 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$

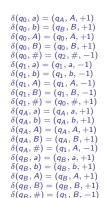


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

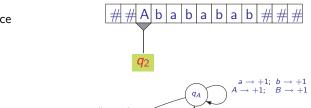
() Turingův stroj 72 / 78

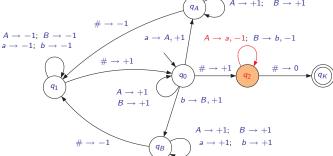
Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$



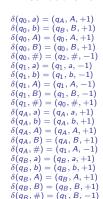


Popis

Nyní TS převede symboly 'A' na 'a' a symboly 'B' na 'b'.

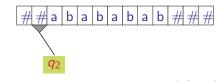
() Turingův stroj 73 / 78

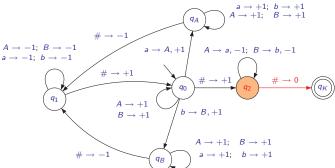
Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Popis

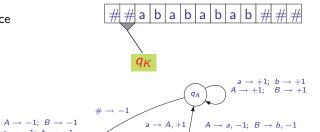
Nyní je na pásce zdvojené slovo.

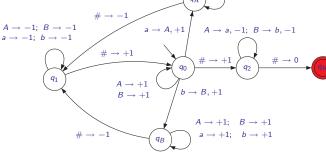
Přechodová funkce



 $\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)$

 $\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)$ $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$





Turingův stroj

Popis

TS je v koncovém stavu.

Popište činnost TS

Návrhňěte způsob zkrácení výpočtu.

Popište činnost TS

Daný TS ze vstupního slova w=abab vytvořil výstupní slovo w=abababab. Daný TS zdvojuje slovo na pásce (ww).

Návrhňěte způsob zkrácení výpočtu.

Proč se daný TS vracel vždy na začátek slova a nezastavil se na prvním označeném symbolu?

76 / 78

Turingův stroj vytvořil v průběhu výpočtu zdvojené slovo na pásce.

```
vstup: slovo w = abab
výstup: slovo ww = abababab
```

Turingův stroj je určen šesticí parametrů $M = (Q, \Sigma, \Gamma, q_0, F, \delta)$

- stavy: $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_A, q_B, q_K\}$
- vstupní abeceda: $\Sigma = \{a, b\}$
- páskové symboly: $\Gamma = \{a, b, A, B, \#\}$
- počáteční stav: q₀
- množina koncových stavů: $F = \{q_k\}$
- ullet přechodová funkce: δ viz další slide



Přechodová funkce

```
\delta(q_0, a) = (q_A, A, +1)
\delta(q_0, b) = (q_B, B, +1)
\delta(q_0, A) = (q_0, A, +1)
\delta(q_0, B) = (q_0, B, +1)
\delta(q_0, \#) = (q_2, \#, -1)
\delta(q_1, a) = (q_1, a, -1)
\delta(q_1, b) = (q_1, b, -1)
\delta(q_1, A) = (q_1, A, -1)
\delta(q_1, B) = (q_1, B, -1)
\delta(q_1, \#) = (q_0, \#, +1)
\delta(q_A, a) = (q_A, a, +1)
\delta(q_A, b) = (q_A, b, +1)
\delta(q_A, A) = (q_A, A, +1)
\delta(q_A, B) = (q_A, B, +1)
\delta(q_A, \#) = (q_1, A, -1)
\delta(q_B, a) = (q_B, a, +1)
\delta(q_R, b) = (q_R, b, +1)
\delta(q_B, A) = (q_B, A, +1)
\delta(q_B, B) = (q_B, B, +1)
\delta(q_B, \#) = (q_1, B, -1)
\delta(q_2, A) = (q_2, a, -1)
\delta(q_2, B) = (q_2, b, -1)
```

 $\delta(q_2, \#) = (q_K, \#, 0)$