

Složitost algoritmů v průměrném případě

Složitost algoritmů v průměrném případě

Dosud jsme uvažovali výpočetní složitost algoritmů v **nejhorším** případě.

Připomeňme, že například **časová složitost algoritmu v nejhorším případě** je funkce, která přiřazuje každé možné velikosti vstupu n maximální dobu výpočtu $T(n)$ nad vstupy velikosti n .

Tj. hodnota $T(n)$ musí pro každé n splňovat následující:

- pro každý vstup velikosti n je doba výpočtu menší nebo rovna $T(n)$.
- existuje alespoň jeden vstup velikosti n , pro který je doba výpočtu rovna $T(n)$.

Pro řadu vstupů velikosti n však může být skutečná doba výpočtu mnohem menší než $T(n)$.

Složitost algoritmů v průměrném případě

Můžeme si představit, že bychom daný algoritmus:

- opakovaně pouštěli na velkém množství různých vstupů velikosti n
- spočítali **průměrnou dobu výpočtu** při těchto pokusech
 - tj. sečetli doby všech výpočtů a podělili tento součet jejich počtem.

Časovou složitost v průměrném případě je možné neformálně popsat takto:

- Je to funkce, která velikosti vstupu n přiřazuje hodnotu, ke které se bude blížit průměrná doba výpočtu na vstupech velikosti n s tím, jak poroste počet vstupů, na kterých budeme algoritmus pouštět.

Poznámka:

Abychom mohli tento pojem zavést formálně, je vhodné si nejprve připomenout některé základní pojmy z **teorie pravděpodobnosti**.

Základní představa při zkoumání **pravděpodobnosti** je taková, že opakovaně provádíme pokusy, kdy výsledek každého pokusu je hodnota z nějaké předem dané množiny S .

Příklady:

- Háže se kostkou: množina $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ udává možné počty teček, které mohou na kostce padnout
- Náhodně taháme kartu z balíčku karet: každá karta je dána svou hodnotou (z množiny $\{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, J, Q, K, A\}$) a svou barvou (z množiny $\{\spadesuit, \heartsuit, \clubsuit, \diamondsuit\}$)
množina S je množina všech druhů karet — typickým příkladem prvku z této množiny je např. pikové eso ($A\spadesuit$)

Poznámka: Odborným termínem se tato množina S reprezentující možné výsledky náhodných pokusů označuje jako **prostor elementárních jevů** či **výběrový prostor**.

Tato množina S může být i složitější.

Příklady:

- Háže se dvojicí kostek:
 S bude množina všech uspořádaných dvojic čísel z intervalu $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ — velikost množiny S bude tedy 36
- Z balíčku karet se náhodně tahá 5 karet:
množina S je tvořena všemi možnými pěticemi karet, které je možné si z balíčku náhodně vytáhnout

Obecně může být množina S i nekonečná. My se zde ale nejprve zaměříme na jednodušší případy, kdy je množina S konečná.

- V případě zkoumání složitosti algoritmů bude množina S nejčastěji tvořena množinou všech možných vstupů velikosti n pro dané fixní n .

Základní představa je taková, že:

- pokusy provádíme mnohokrát opakovaně
- výsledek žádného konkrétního pokusu není možné předvídat — v tomto smyslu jsou výsledky jednotlivých pokusů **náhodné**
- pokusy jsou vzájemně **nezávislé** — tj. výsledky předchozích pokusů nijak neovlivňují výsledek následujícího pokusu

- Přestože o konkrétních výsledcích jednotlivých pokusů nemůžeme předem nic říct, předpokládáme, že se výsledky pokusů chovají určitým předvidatelným způsobem ze **statistického hlediska**:

Řekněme, že budeme sledovat, jak často vychází určitý konkrétní výsledek (např. že na kostce padlo číslo 3, nebo že jsme si vytáhli z balíčku karet pikové eso (**A♠**), apod.).

Předpokládáme, že s rostoucím počtem pokusů bude poměr

$$\frac{\text{kolikrát vyšel daný konkrétní výsledek}}{\text{celkový počet provedených pokusů}}$$

stále více a více konvergovat k nějakému jednomu konkrétnímu reálnému číslu.

Navíc předpokládáme, že toto číslo, ke kterému bude daný poměr konvergovat, bude pro jakoukoli posloupnost náhodných pokusů vždy stejné.

Jako **náhodný jev** se označuje nějaká libovolná podmnožina A množiny S (tj. $A \subseteq S$).

U každého jednotlivého pokusu pak daný náhodný jev A buď:

- **nastal** — tj. pro výsledek pokusu s (kde $s \in S$) platí $s \in A$, nebo
- **nenastal** — tj. pro výsledek pokusu s platí $s \notin A$

Příklady:

- Házeme kostkou:

A je náhodný jev „*padlo číslo větší než 2*“, tj. $A = \{3, 4, 5, 6\}$

- Taháme karty z balíčku:

A je náhodný jev „*vytáhli jsme si eso*“

B je náhodný jev „*vytáhli jsme si nějakou pikovou kartu*“

Teorie pravděpodobnosti

Vezměme si nějaký náhodný jev A (kde $A \subseteq S$) a provádějme nějaké delší a delší (ale pořád jen konečné) posloupnosti pokusů.

Předpokládáme, že poměr

$$\frac{\text{kolikrát nastal jev } A}{\text{celkový počet provedených pokusů}}$$

bude s rostoucím počtem pokusů konvergovat k nějakému vždy stejnému reálnému číslu.

Toto číslo, ke kterému daný poměr konverguje, se označuje jako **pravděpodobnost** náhodného jevu A .

Budeme ji označovat zápisem

$$\Pr\{A\}$$

Je to vždy reálné číslo v intervalu $[0, 1]$.

Z formálního matematického hlediska je **pravděpodobnost** Pr funkce, která přiřazuje náhodným jevům na množině S čísla z intervalu $[0, 1]$.

Označme množinu všech náhodných jevů na množině S symbolem \mathcal{F} :

- V případě **konečných** množin S budeme brát množinu náhodných jevů jako množinu všech podmnožin množiny S , tj. $\mathcal{F} = \mathcal{P}(S)$.
- V případě **nekonečných** množin (zejména pak v případě nespočetně velkých nekonečných množin) je situace složitější.

Pravděpodobnost zde obecně nemusí být definována pro každou podmnožinu, ale jen pro některé z nich (tj. $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{P}(S)$).

Poznámka: Množina všech náhodných jevů \mathcal{F} musí splňovat některé podmínky, které si uvedeme později.

Řekněme, že S je množina všech možných výsledků náhodných pokusů a \mathcal{F} je množina všech náhodných jevů definovaných na množině S .

Rozdělení pravděpodobnosti (či **pravděpodobnostní rozdělení**) je funkce $\Pr : \mathcal{F} \rightarrow \mathbb{R}$ splňující následující podmínky:

- Pro libovolný jev A (kde $A \in \mathcal{F}$) platí $\Pr\{A\} \geq 0$.
- $\Pr\{S\} = 1$
- Pro každé dva vzájemně se vylučující jevy A a B (tj. jevy, kde $A \cap B = \emptyset$) platí

$$\Pr\{A \cup B\} = \Pr\{A\} + \Pr\{B\}$$

a obecně pro jakoukoli posloupnost vzájemně se vylučujících jevů A_0, A_1, A_2, \dots (která může být konečná nebo spočetně nekonečná) platí

$$\Pr\left\{\bigcup_i A_i\right\} = \sum_i \Pr\{A_i\}$$

Z definice rozdělení pravděpodobnosti \Pr plynou některé jednoduché důsledky:

- $\Pr\{\emptyset\} = 0$
- Náhodný jev $\bar{A} = S - A$ se označuje jako **opačný** jev k jevu A .

Platí

$$\Pr\{\bar{A}\} = 1 - \Pr\{A\}$$

- Pro libovolné dva jevy A a B (ne nutně se vzájemně vylučující) platí:

$$\Pr\{A \cup B\} = \Pr\{A\} + \Pr\{B\} - \Pr\{A \cap B\}$$

V případě nekonečných množin nemusí být obecně pravděpodobnost definována pro všechny podmnožiny množiny S , ale jen pro některé z nich.

Množina \mathcal{F} všech podmnožin, pro které je pravděpodobnost definována, musí splňovat následující podmínky:

- $S \in \mathcal{F}$
- Pokud $A \in \mathcal{F}$, pak i $(S - A) \in \mathcal{F}$.
- Pro každou konečnou či nekonečnou spočetnou posloupnost A_0, A_1, A_2, \dots podmnožin množiny S patřících do množiny \mathcal{F} patří do \mathcal{F} i jejich sjednocení

$$A = A_0 \cup A_1 \cup A_2 \cup \dots$$

Poznámka: Systém podmnožin \mathcal{F} množiny S splňující výše uvedené podmínky se označuje jako **σ -algebra**.

Náhodný jev A se označuje jako **elementární**, jestliže je příslušná množina jednoprvková, tj. $A = \{s\}$ pro nějaké $s \in S$.

V případě **konečných** množin S není třeba specifikovat pravděpodobnost pro všechny náhodné jevy (tj. pro všechny množiny A z \mathcal{F}):

- U konečných množin S stačí stanovit pravděpodobnosti elementárních jevů.
- Na základě pravděpodobností elementárních jevů jsou pak určeny pravděpodobnosti všech jevů A , kde $A \subseteq S$.

Rozdělení pravděpodobnosti na **konečné** množině S může být popsáno jako funkce

$$p : S \rightarrow \mathbb{R}$$

přiřazující pravděpodobnosti jednotlivým prvkům množiny S , která splňuje dvě následující podmínky:

- Pro každé $s \in S$ platí $p(s) \geq 0$.
- Součet všech pravděpodobností jednotlivých prvků množiny S je roven **1**:

$$\sum_{s \in S} p(s) = 1$$

Pravděpodobnosti všech jevů (tj. všech podmnožin A množiny S) jsou pak určeny následovně:

$$\Pr\{A\} = \sum_{s \in A} p(s)$$

Jako speciální případ se často se uvažuje **rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti**, kde pro každé $s \in S$ platí

$$p(s) = \frac{1}{|S|}$$

Pro každý jev A (kde $A \subseteq S$) pak platí

$$\Pr\{A\} = \frac{|A|}{|S|}$$

- **Podmíněná pravděpodobnost** jevu A za podmínky, že nastal jev B , je definována

$$\Pr\{A \mid B\} = \frac{\Pr\{A \cap B\}}{\Pr\{B\}}$$

kde předpokládáme $\Pr\{B\} \neq 0$.

- Jevy A a B jsou **nezávislé**, jestliže platí

$$\Pr\{A \cap B\} = \Pr\{A\} \cdot \Pr\{B\}$$

Za předpokladu, že $\Pr\{B\} \neq 0$, to platí právě tehdy, když

$$\Pr\{A \mid B\} = \Pr\{A\}$$

Často je třeba pracovat nejen s náhodnými jevy a jejich pravděpodobnostmi, ale také s nějakými číselnými hodnotami, které jsou nějakým konkrétním způsobem přiřazeny jednotlivým možným výsledkům náhodných pokusů.

K tomuto účelu slouží tzv. **náhodné proměnné** (používá se též pojem **náhodné veličiny**):

- Formálně je náhodná proměnná X definována jako funkce

$$X : S \rightarrow \mathbb{R}$$

Pro jednoduchost budeme uvažovat náhodné proměnné pouze pro **konečné** množiny S .

Obecně je možné definovat náhodné proměnné pro libovolné množiny S (i nekonečné nespočetné), situace je tam ale technicky komplikovanější.

Poznámka: Hodnoty náhodné proměnné nemají nic společného s pravděpodobnostmi, mohou to být zcela libovolná čísla.

Příklad: Předpokládejme, že házeme dvojicí kostek.

Můžeme definovat následující tři náhodné proměnné X , Y , Z :

- hodnota náhodné proměnné X je dána jako **součet** hodnot, které padly na obou kostkách
- hodnota náhodné proměnné Y je dána jako **součin** hodnot, které padly na obou kostkách
- hodnota náhodné proměnné Z je dána jako **maximum** z hodnot, které padly na obou kostkách

Pravděpodobnost toho, že daná náhodná proměnná X nabývá konkrétní hodnoty x (kde $x \in \mathbb{R}$) budeme označovat zápisem

$$\Pr\{X = x\}$$

Platí

$$\Pr\{X = x\} = \sum_{s \in S: X(s)=x} \Pr\{s\}$$

Poznámka: Pro konečné množiny S je tato suma vždy dobře definovaná.

Pro náhodnou proměnnou X můžeme počítat její **střední hodnotu** — označuje se zápisem $E[X]$:

- Intuitivně střední hodnota $E[X]$ odpovídá číslu, ke kterému bude konvergovat **aritmetický průměr** hodnot, jakých nabývá náhodná proměnná X s tím, jak bude narůstat počet prováděných náhodných pokusů.
- Hodnotu $E[X]$ je možno spočítat následujícím způsobem:

$$E[X] = \sum_{x \in \mathbb{R}} x \cdot \Pr\{X = x\}$$

Poznámka: V případě konečné množiny S je tato suma vždy dobře definovaná, protože $\Pr\{X = x\}$ může mít nenulovou hodnotu jen pro konečně mnoho hodnot x .

- Jednou z důležitých vlastností střední hodnoty, kterou je možné snadno odvodit z její definice, je **linearita součtu středních hodnot**:

$$E[X + Y] = E[X] + E[Y]$$

Toto je možné rozšířit i na libovolné sumy.

- Náhodné proměnné X a Y jsou **nezávislé**, jestliže pro každé x a y platí, že náhodné jevy $X = x$ a $Y = y$ jsou nezávislé, tj. pokud pro každé $x, y \in \mathbb{R}$ platí

$$\Pr\{X = x \text{ a } Y = y\} = \Pr\{X = x\} \cdot \Pr\{Y = y\}$$

Pokud jsou náhodné proměnné X a Y nezávislé a jejich střední hodnoty jsou definovány, tak platí

$$E[X \cdot Y] = E[X] \cdot E[Y]$$

- Pokud na náhodnou proměnnou aplikujeme libovolnou konvexní funkci $f(x)$, bude platit následující nerovnost označovaná jako **Jensenova nerovnost**:

$$E[f(X)] \geq f(E[X])$$

Poznámka:

Funkce $f(x)$ je **konvexní** jestliže pro každé x a y a pro každé λ takové, že $0 \leq \lambda \leq 1$, platí

$$f(\lambda x + (1 - \lambda)y) \leq \lambda f(x) + (1 - \lambda)f(y)$$

Složitost algoritmů v průměrném případě

Vraťme se nyní k pojmu **časové složitosti v průměrném případě**.

Chceme nadefinovat hodnotu funkce $T(n)$, která bude udávat časovou složitost nějakého daného algoritmu \mathcal{A} v průměrném případě:

- Pro dané $n \in \mathbb{N}$ zvolíme množinu S jako množinu všech vstupů velikosti n , tj.

$$S = \{w \in In \mid size(w) = n\}$$

- Budeme pro jednoduchost předpokládat, že množina S je konečná.
- Musí být určeno nějaké **rozdělení pravděpodobnosti** $p : S \rightarrow \mathbb{R}$.
(Nejčastěji budeme uvažovat rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti.)

Složitost algoritmů v průměrném případě

- Definujme náhodnou proměnnou X , která bude každému vstupu $w \in S$ přiřazovat **dobu výpočtu** algoritmu \mathcal{A} nad vstupem w .
- **Časovou složitost** algoritmu \mathcal{A} v **průměrném případě** pak můžeme pro dané n definovat jako **střední hodnotu** doby výpočtu nad vstupy velikosti n vybíranými náhodně podle daného rozdělení pravděpodobnosti p , tj.

$$T(n) = E[X]$$

Pokusme se analyzovat časovou složitost v průměrném případě pro následující algoritmus:

Algoritmus: Třídění přímým vkládáním

INSERTION-SORT (A, n):

```
for  $j := 1$  to  $n - 1$  do
   $x := A[j]$ 
   $i := j - 1$ 
  while  $i \geq 0$  and  $A[i] > x$  do
     $A[i + 1] := A[i]$ 
     $i := i - 1$ 
   $A[i + 1] := x$ 
```

Tj. chceme najít funkci $T(n)$ takovou, že časová složitost algoritmu INSERTION-SORT v průměrném případě je v $\Theta(T(n))$.

Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$

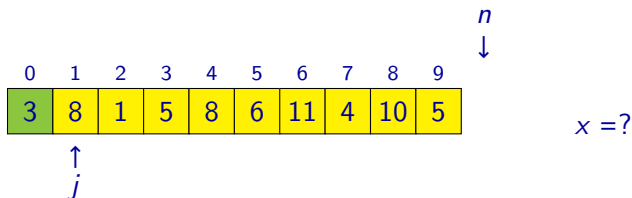
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	8	1	5	8	6	11	4	10	5

n
↓

$x = ?$

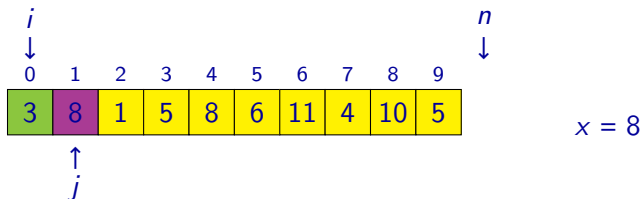
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



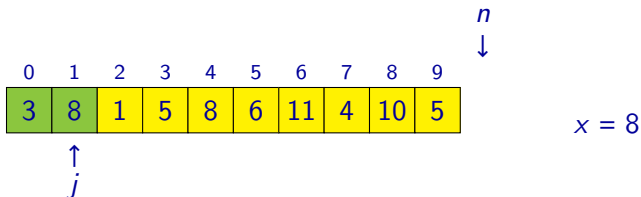
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



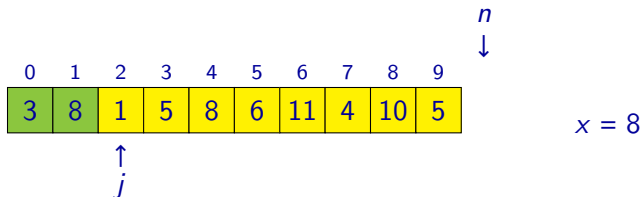
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



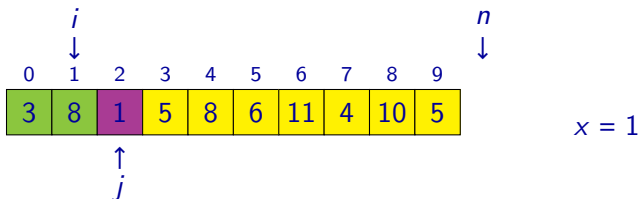
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

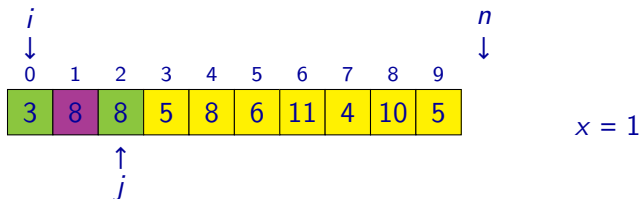
$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



$x = 1$

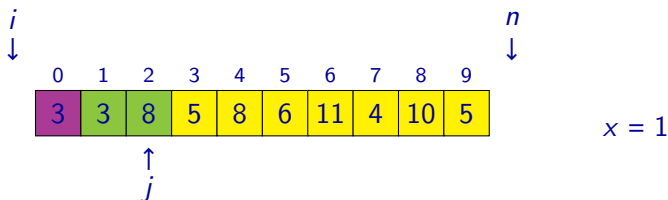
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



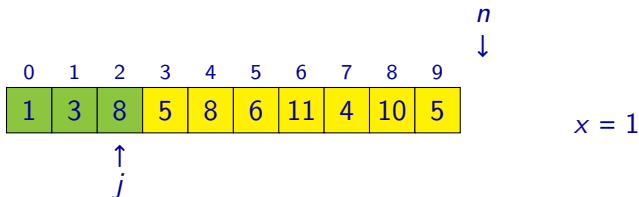
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



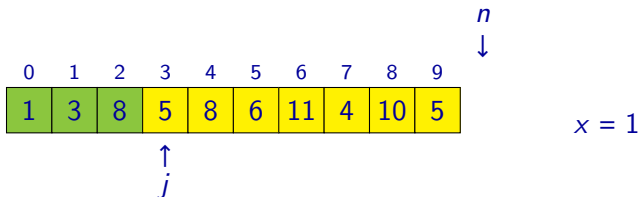
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



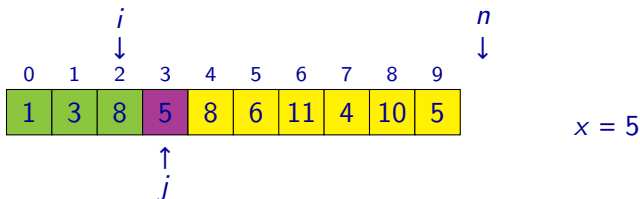
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



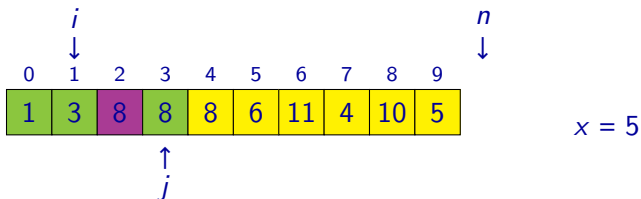
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

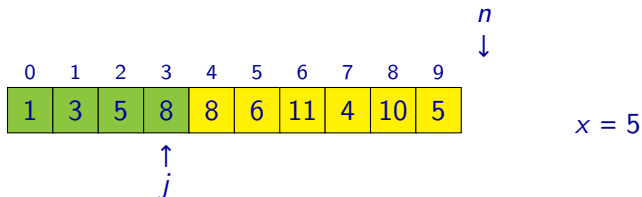
$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



$x = 5$

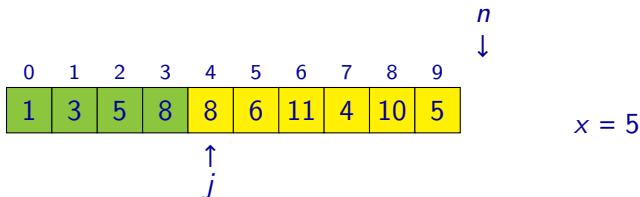
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



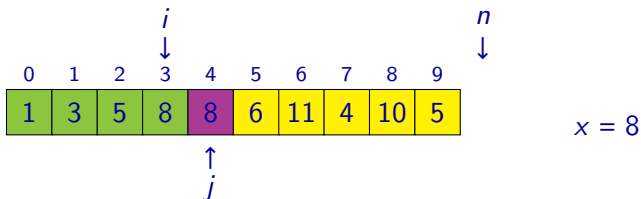
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



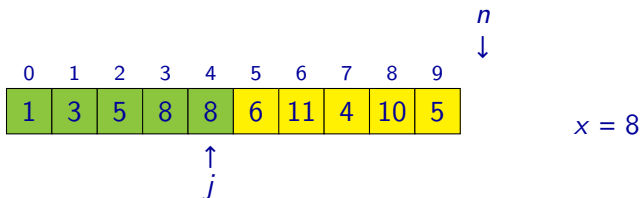
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



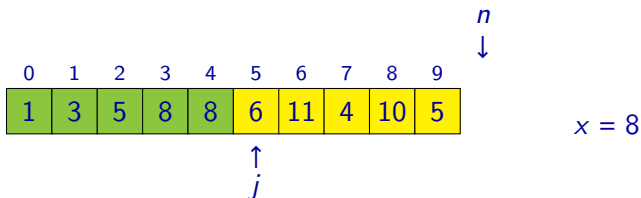
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



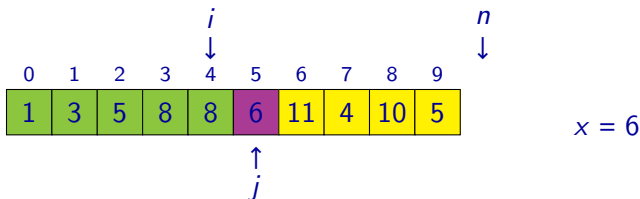
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



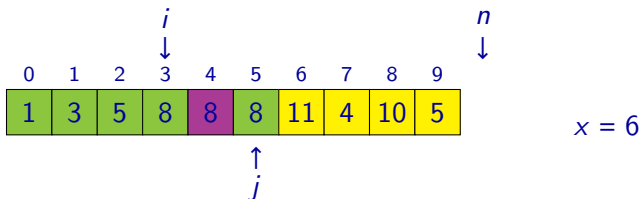
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



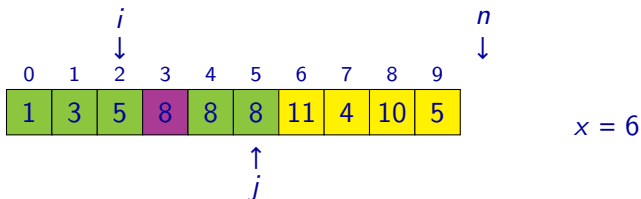
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



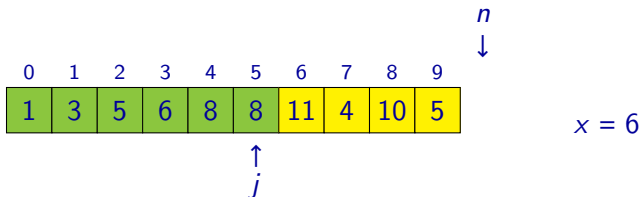
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



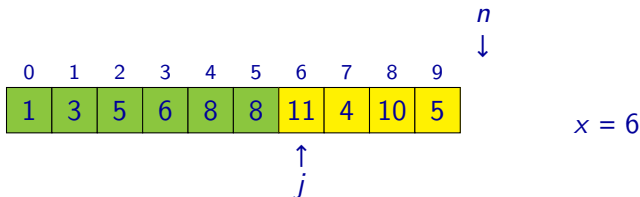
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



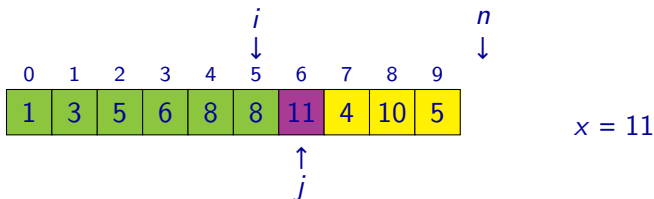
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



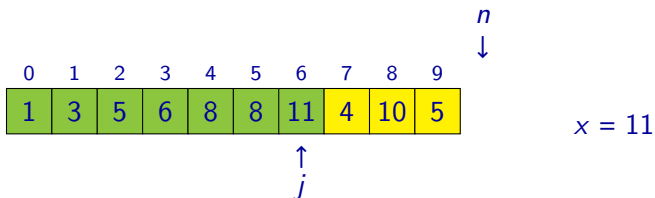
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



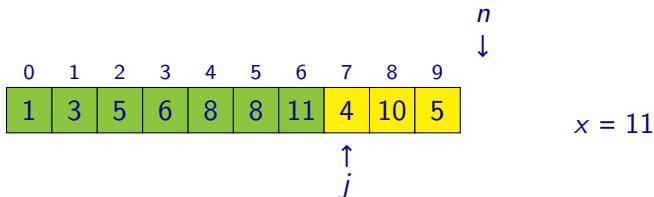
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



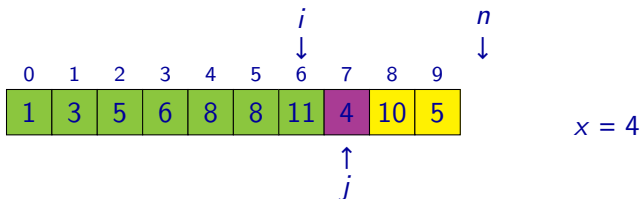
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



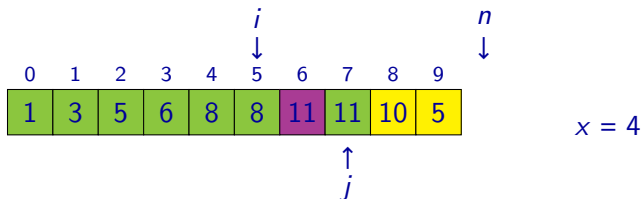
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



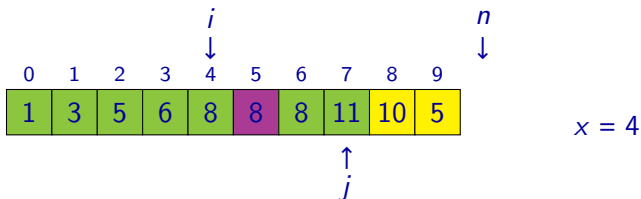
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



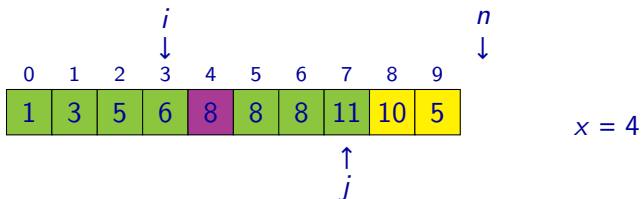
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



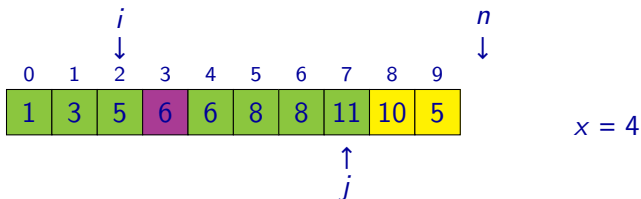
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



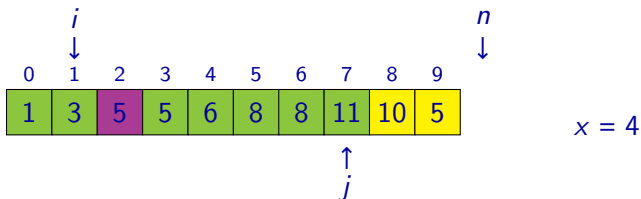
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



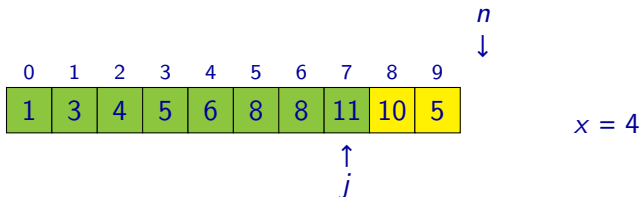
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



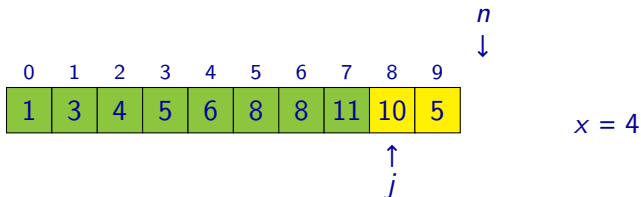
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



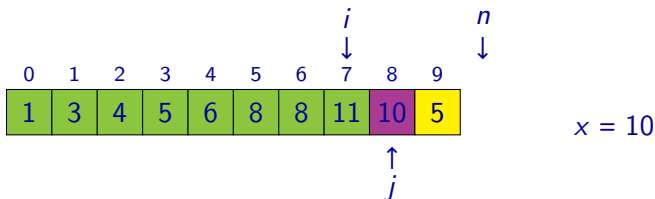
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



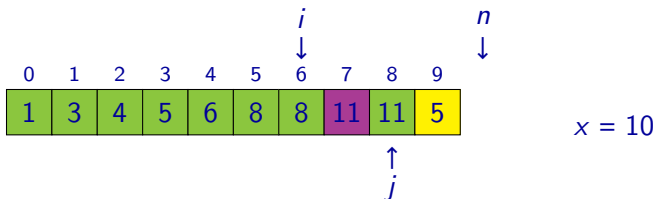
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



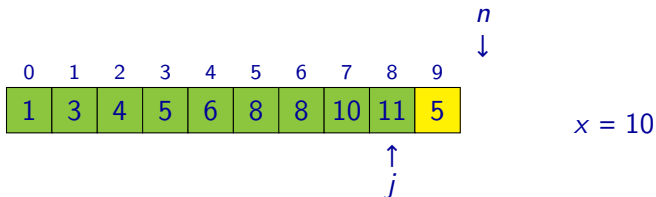
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



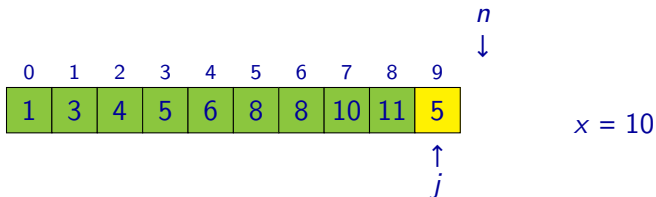
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



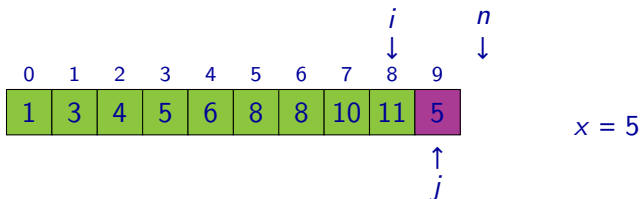
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



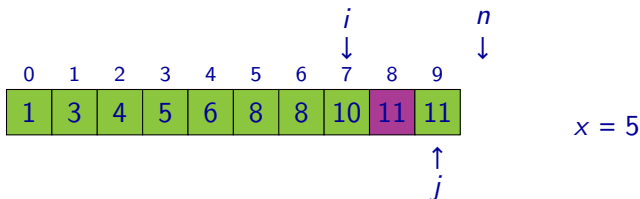
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



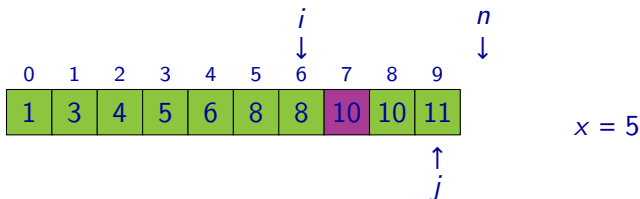
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



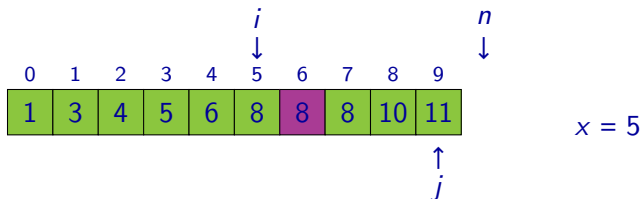
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



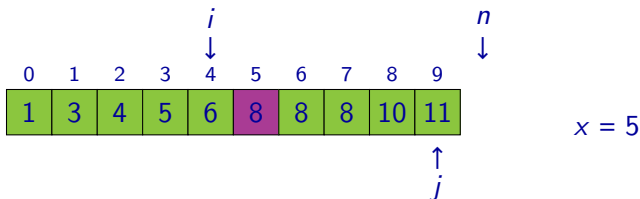
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



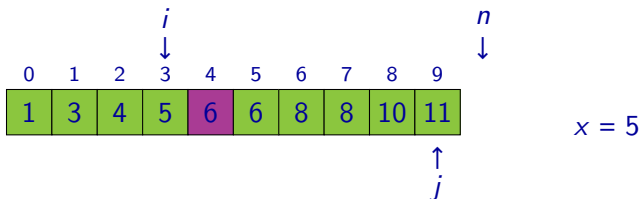
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



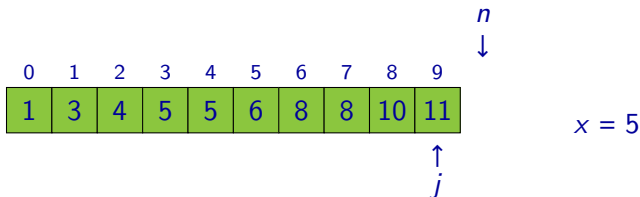
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



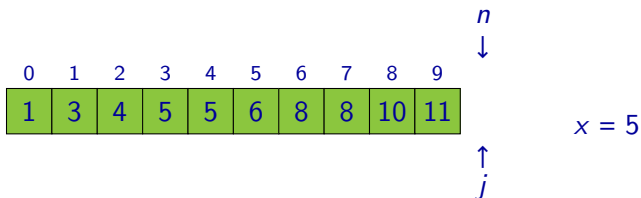
Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



Příklad: Výpočet algoritmu `INSERTION-SORT` pro vstup

$$A = [3, 8, 1, 5, 8, 6, 11, 4, 10, 5], n = 10.$$



Algoritmus: Třídění přímým vkládáním

```
INSERTION-SORT ( $A, n$ ):  
  for  $j := 1$  to  $n - 1$  do  
     $x := A[j]$   
     $i := j - 1$   
    while  $i \geq 0$  and  $A[i] > x$  do  
       $A[i + 1] := A[i]$   
       $i := i - 1$   
     $A[i + 1] := x$ 
```

- Je očividné, že čas, který se stráví ve vnější smyčce, bude vždy $\Theta(n)$, bez ohledu na to, jak vypadá daný vstup.
- Je tedy jasné, že celková doba výpočtu bude $\Theta(n + t)$, kde t je počet průchodů vnitřním cyklem.

- Musíme tedy určit, jaký bude průměrný počet průchodů vnitřním cyklem.
- Již dříve jsme určili maximální počet průchodů vnitřním cyklem:

$$\sum_{j=1}^{n-1} j = \frac{(1 + (n - 1)) \cdot (n - 1)}{2} = \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n$$

- Je také jasné, že vnitřní cyklus nemusí proběhnout ani jednou.

- Je zřejmé, že chování algoritmu **INSERTION-SORT** z hlediska počtů provedených průchodů vnitřním cyklem nezávisí na konkrétních hodnotách prvků pole A , ale pouze na jejich relativním pořadí.
- Můžeme tedy předpokládat, že vstupem je libovolná **permutace** nějakých konkrétních prvků

$$a_1, a_2, \dots, a_n$$

- Pro jednoduchost budeme předpokládat, že všechny prvky jsou navzájem **různé**.
- Tím nekonečný počet možných vstupů velikosti n zredukujeme na konečný počet — $n!$ různých permutací.
- Budeme předpokládat **rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti** — tj. že všechny permutace jsou stejně pravděpodobné.

Permutace prvků určité množiny je jeden možný způsob, jak mohou být tyto prvky uspořádány do posloupnosti.

Například pro prvky 1, 2, 3, 4 jsou všechny jejich permutace:

1 2 3 4	2 1 3 4	3 1 2 4	4 1 2 3
1 2 4 3	2 1 4 3	3 1 4 2	4 1 3 2
1 3 2 4	2 3 1 4	3 2 1 4	4 2 1 3
1 3 4 2	2 3 4 1	3 2 4 1	4 2 3 1
1 4 2 3	2 4 1 3	3 4 1 2	4 3 1 2
1 4 3 2	2 4 3 1	3 4 2 1	4 3 2 1

Celkový počet všech permutací n prvků je $n!$.

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n$$

Označme:

- X — náhodnou proměnnou udávající celkový počet průchodů vnitřním cyklem
- X_j — náhodnou proměnnou udávající celkový počet průchodů vnitřním cyklem v j -té iteraci
- Zjevně platí

$$X = \sum_{j=1}^{n-1} X_j$$

- V j -té iteraci může vnitřní cyklus proběhnout 0-krát, 1-krát, \dots , j -krát. Všechny tyto možnosti jsou stejně pravděpodobné.

$$E[X_j] = \sum_{i=0}^j \frac{1}{j+1} \cdot i = \frac{1}{j+1} \cdot \sum_{i=0}^j i = \frac{1}{j+1} \cdot \frac{(0+j) \cdot (j+1)}{2} = \frac{j}{2}$$

Střední hodnotu celkového počtu průchodů vnitřním cyklem pak můžeme spočítat následovně:

$$E[X] = E\left[\sum_{j=1}^{n-1} X_j\right] = \sum_{j=1}^{n-1} E[X_j] = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{j}{2} = \frac{1}{4}n^2 - \frac{1}{4}n$$

V průměru se tedy provede $\frac{1}{4}n^2 - \frac{1}{4}n$ iterací vnitřního cyklu.

Složitost algoritmu **INSERTION-SORT** v průměrném případě je proto $\Theta(n^2)$, stejně jako v nejhorším případě.

Připomeňme si třídící algoritmus Quicksort:

Algoritmus: Quicksort

QUICKSORT (A, p, r):

if $p < r$ **then**

$q :=$ PARTITION(A, p, r)

 QUICKSORT($A, p, q - 1$)

 QUICKSORT($A, q + 1, r$)

PARTITION (A, p, r):

$x := A[r]$

$i := p - 1$

for $j := p$ **to** $r - 1$ **do**

if $A[j] \leq x$ **then**

$i := i + 1$

$y := A[i]; A[i] := A[j]; A[j] := y$

$A[r] := A[i + 1]; A[i + 1] := x$

return $i + 1$

Funkce $\text{PARTITION}(A, p, r)$:

- přerozdělí úsek pole A tvořený prvky $A[p], A[p + 1], \dots, A[r]$ následujícím způsobem
- zvolí prvek $A[r]$ jako **pivot**
- prvky z daného úseku, které jsou menší nebo rovny pivotu, dá na začátek tohoto úseku
- prvky z daného úseku, které jsou větší než pivot, dá na konec tohoto úseku
- pivot umístí mezi tyto dva podúseky

- Není těžké si rozmyslet, že nejhorší případ nastane, pokud při každém volání funkce **PARTITION** bude pivot vždy největším nebo naopak nejmenším prvkem v daném úseku.
- Jestliže velikost úseku byla k (kde $k = r - p + 1$), velikost vytvořených podúseků bude v tomto nejhorším případě $k - 1$ a 0 (nebo 0 a $k - 1$).
- Celková složitost algoritmu Quicksort v **nejhorším případě** pak bude úměrná součtu aritmetické řady

$$\sum_{k=1}^n k = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{2}n$$

Složitost v nejhorším případě je tedy $\Theta(n^2)$.

Pro jednoduchost budeme v následující analýze složitosti algoritmu Quicksort v průměrném případě předpokládat následující:

- vstupem může být libovolná permutace prvků

$$a_1, a_2, \dots, a_n$$

kde

$$a_1 < a_2 < \dots < a_n$$

(tj. předpokládáme, že všechny prvky jsou navzájem různé)

- všechny permutace jsou stejně pravděpodobné

Označme X náhodnou proměnnou udávající celkový počet porovnání provedených ve všech voláních funkce `PARTITION`.

Je zjevné, že:

- Doba běhu algoritmu Quicksort je $\mathcal{O}(n + X)$.

Je tedy třeba určit střední hodnotu celkového počtu porovnání, tj. hodnotu $E[X]$.

Zavedeme následující náhodné proměnné X_{ij} , pro každé i, j , kde $1 \leq i < j \leq n$:

- X_{ij} — počet, kolikrát budou spolu porovnány prvky a_i a a_j

Je zjevné, že proměnná X_{ij} bude nabývat jen hodnot 1 a 0 :

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{pokud } a_i \text{ a } a_j \text{ budou porovnány} \\ 0 & \text{pokud } a_i \text{ a } a_j \text{ nebudou porovnány} \end{cases}$$

Poznámka: Náhodné proměnné, které nabývají jen hodnot 0 a 1 , se někdy označují jako **indikátorové** náhodné proměnné.

Zjevně platí:

$$X = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n X_{ij}$$

Střední hodnotu můžeme tedy spočítat následovně:

$$E[X] = E\left[\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n X_{ij}\right] = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n E[X_{ij}]$$

Zbývá tedy určit hodnotu $E[X_{ij}]$, což je pravděpodobnost toho, že prvky a_i a a_j budou spolu porovnány.

Poznámka: Všimněte si, že u indikátorových náhodných proměnných obecně jejich střední hodnota odpovídá pravděpodobnosti toho, že daný jev nastane (tj. že daná proměnná bude mít hodnotu 1).

Abychom určili pravděpodobnost toho, že pro dané i a j budou prvky a_i a a_j spolu porovnány, budeme postupovat následovně:

- označme B_{ij} množinu tvořenou všemi prvky ze vstupu A , jejichž velikosti jsou mezi a_i a a_j (včetně těchto dvou prvků):

$$B_{ij} = \{a_i, a_{i+1}, \dots, a_j\}$$

- uvažujme posloupnost všech prvků, které jsou algoritmem Quicksort postupně vybírány jako **pivoty** ve voláních funkce `PARTITION`
- dokud jsou jako pivoty vybírány prvky mimo B_{ij} , budou vždy všechny prvky z B_{ij} zařazeny do nějakého společného podúseku
- uvažujme nyní první prvek z množiny B_{ij} , který bude vybrán jako pivot — tento prvek bude porovnán se **všemi** ostatními prvky z B_{ij} (a případně i s nějakými dalšími prvky mimo tento interval)

Mohou nastat dva případy:

- Jako první prvek z B_{ij} bude jako pivot vybrán prvek a_i nebo a_j :
 - prvky a_i a a_j budou v tomto případě spolu porovnány
- Jako první prvek z B_{ij} bude jako pivot vybrán některý z prvků $a_{i+1}, a_{i+2}, \dots, a_{j-1}$:
 - prvky a_i a a_j budou s tímto prvkem porovnány a octnou se tak v **různých** podúsecích
 - prvky a_i a a_j tak v tomto případě už nikdy nebudou spolu porovnány

Pravděpodobnost, že daný prvek bude vybrán jako pivot, je pro všechny prvky z množiny

$$B_{ij} = \{a_i, a_{i+1}, \dots, a_j\}$$

stejná.

Pravděpodobnost toho, že bude vybrán zrovna prvek a_i nebo a_j , je tak proto

$$\frac{2}{j-i+1}$$

a tato pravděpodobnost je zároveň pravděpodobností toho, že prvky a_i a a_j budou spolu porovnány.

Platí tedy

$$E[X_{ij}] = \frac{2}{j-i+1}$$

Dostáváme tak

$$\begin{aligned} E[X] &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n E[X_{ij}] = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{2}{j-i+1} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=1}^{n-i} \frac{2}{k+1} \\ &< \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=1}^n \frac{2}{k} = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \Theta(\log n) = \Theta(n \log n) \end{aligned}$$

Je také zřejmé, že při každém běhu provede Quicksort minimálně $\Omega(n \log n)$ kroků.

Složitost algoritmu Quicksort v průměrném případě je $\Theta(n \log n)$.

Poznámka: Posloupnost

$$\frac{1}{1}; \frac{1}{2}; \frac{1}{3}; \frac{1}{4}; \frac{1}{5}; \frac{1}{6}; \frac{1}{7}; \frac{1}{8}; \frac{1}{9}; \dots$$

se označuje jako **harmonická řada**.

Součet prvních n členů této řady se označuje jako n -té **harmonické číslo**:

$$H_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$$

Dá se ukázat, že pro harmonická čísla platí následující:

$$\ln n + \frac{1}{n} < H_n < \ln n + 1$$

kde \ln označuje **přirozený logaritmus**, tj. logaritmus o základu e (**Eulerovo číslo** 2.718281828459...)

Jestliže Quicksort vybírá prvek, který bude použit jako pivot, nějakým jednoduchým **deterministickým** způsobem, např.:

- prvek z konce daného tříděného úseku pole A
- prvek uprostřed daného úseku
- prostřední hodnotu z prvního, posledního a prostředního prvku z daného úseku

tak je možné pro každé n najít **konkrétní** příklady vstupů, pro které algoritmus provede $\Omega(n^2)$ kroků.

Alternativou je použít **randomizovaný** algoritmus — tj. algoritmus používající generátor náhodných čísel:

- pivot bude v každém volání funkce `PARTITION` vybrán náhodně jako libovolný prvek z daného úseku pole A
- pro jeden a tentýž vstup bude existovat mnoho různých výpočtů, které se budou lišit tím, které konkrétní prvky budou vybrány jako pivoty
- pořád bude existovat možnost, že algoritmus může někdy provést $\Omega(n^2)$ kroků
- nebude ale existovat žádný konkrétní vstup, na kterém by se toto špatné chování projevilo častěji než na jiných vstupech
- pravděpodobnost takového „špatného“ chování bude extrémně malá a s rostoucí velikostí vstupu bude dále klesat

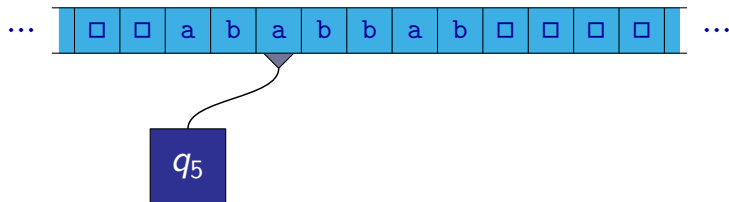
Poznámka: Problematikou **randomizovaných** algoritmů se budeme podrobněji zabývat v jedné z pozdějších přednášek.

Turingovy stroje

Turingův stroj

Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

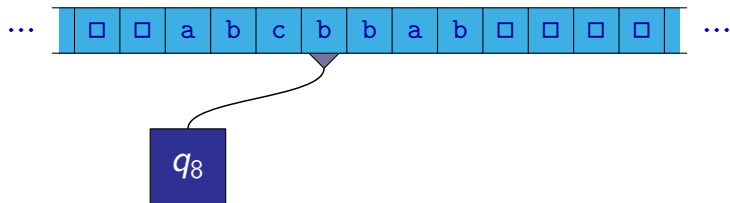
- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



Turingův stroj

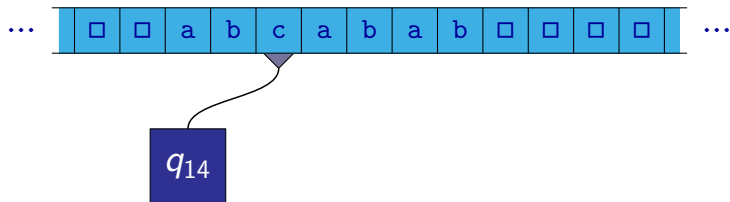
Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



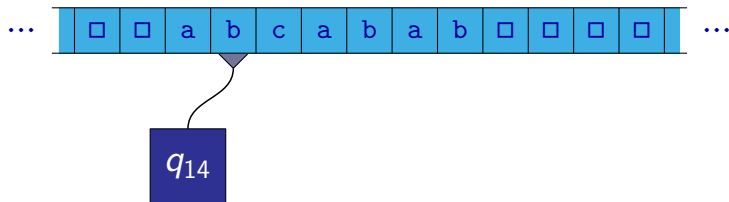
Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



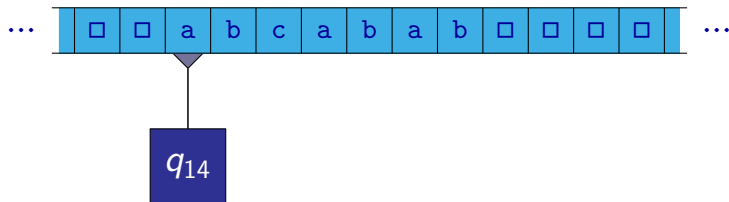
Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



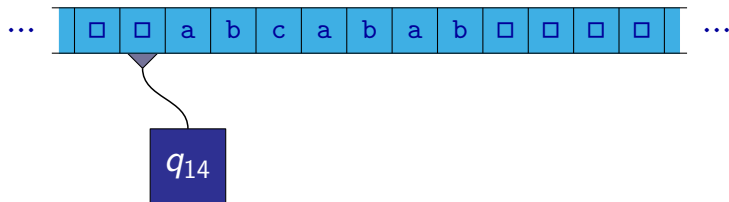
Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

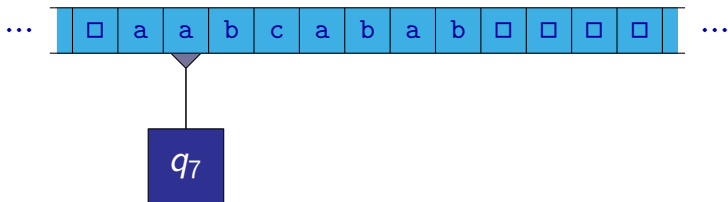
- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



Turingův stroj

Turingův stroj — zařízení podobné konečnému automatu s následujícími rozdíly:

- pohyb hlavy oběma směry
- možnost zápisu na pásku na aktuální pozici hlavy
- páska je nekonečná



Alan M. Turing, „On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem“, *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42 (1936), pp. 230–265, Erratum: *Ibid.*, 43 (1937), pp. 544–546.

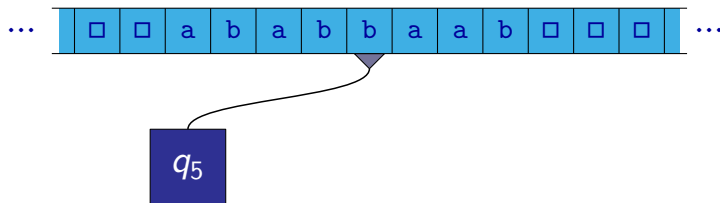
Definice

Formálně je **Turingův stroj** definován jako šestice $\mathcal{M} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, F)$ kde:

- Q je konečná neprázdná množina **stavů**
- Γ je konečná neprázdná množina **páskových symbolů** (**pásková abeceda**)
- $\Sigma \subseteq \Gamma$ je konečná neprázdná množina **vstupních symbolů** (**vstupní abeceda**)
- $\delta : (Q - F) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{-1, 0, +1\}$ je **přechodová funkce**
- $q_0 \in Q$ je **počáteční stav**
- $F \subseteq Q$ je množina **koncových stavů**

Předpokládáme, že v $\Gamma - \Sigma$ je vždy speciální prvek \square označující prázdný znak (blank).

Konfigurace Turingova stroje

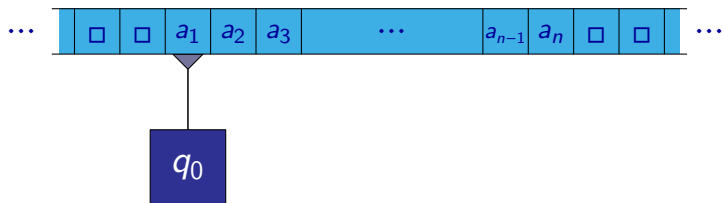


Konfigurace Turingova stroje je dána:

- stavem řídicí jednotky
- obsahem pásky
- pozicí hlavy

Konfigurace Turingova stroje

Výpočet Turingova stroje $\mathcal{M} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, F)$ nad slovem $w \in \Sigma^*$, kde $w = a_1 a_2 \dots a_n$, začíná v **počáteční konfiguraci**:



- stav řídicí jednotky je q_0
- na pásce je zapsáno slovo w , zbývající políčka pásky jsou vyplněna prázdnými symboly (\square)
- hlava se nachází na prvním symbolu slova w (nebo na symbolu \square , pokud je $w = \varepsilon$)

Jeden krok Turingova stroje:

Předpokládejme, že:

- stav řídicí jednotky je q
- na políčku, kde se právě nachází hlava, je zapsán symbol b

Řekněme, že $\delta(q, b) = (q', b', d)$, kde $d \in \{-1, 0, +1\}$.

Jeden krok Turingova stroje se provede následovně:

- stav řídicí jednotky se změní na q'
- na políčko na pozici hlavy se místo symbolu b zapíše symbol b'
- V závislosti na hodnotě d se hlava posune:
 - pro $d = -1$ se posune o jedno políčko doleva
 - pro $d = +1$ se posune o jedno políčko doprava
 - pro $d = 0$ se pozice hlavy nezmění

- Turingův stroj provádí kroky tak dlouho, dokud stav řídicí jednotky není stav z množiny F .
- Konfigurace, kde stav řídicí jednotky patří do množiny F , jsou **koncové konfigurace**.
- V koncových konfiguracích výpočet končí.
- Výpočet stroje \mathcal{M} nad slovem w může být nekonečný.

Často volíme množinu koncových stavů $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$.

Můžeme pak pro slovo $w \in \Sigma^*$ definovat, zda ho daný Turingův stroj přijímá:

- Pokud je po skončení výpočtu nad slovem w řídicí jednotka ve stavu q_{acc} , stroj slovo w přijímá.
- Pokud je po skončení výpočtu nad slovem w řídicí jednotka ve stavu q_{rej} , stroj slovo w nepřijímá.
- Pokud je výpočet nad slovem w nekonečný, stroj slovo w nepřijímá.

Jazyk $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ Turingova stroje \mathcal{M} je množina všech slov nad abecedou Σ^* , která stroj \mathcal{M} přijímá.

Jazyk $L \subseteq \Sigma^*$ je Turingovým strojem \mathcal{M} **přijímán** (accepted), jestliže:

- pro každé slovo $w \in \Sigma^*$ platí, že $w \in L$ právě tehdy, když výpočet stroje \mathcal{M} nad w skončí v koncovém stavu q_{acc} .

(Výpočty nad slovy, která nepatří do L , tedy mohou skončit ve stavu q_{rej} nebo být nekonečné.)

Jazyk $L \subseteq \Sigma^*$ je Turingovým strojem \mathcal{M} **rozpoznáván** (recognized), jestliže:

- pro každé slovo $w \in L$ výpočet stroje \mathcal{M} nad w skončí v koncovém stavu q_{acc} .
- pro každé slovo $w \in (\Sigma^* - L)$ výpočet stroje \mathcal{M} nad w skončí v koncovém stavu q_{rej} .

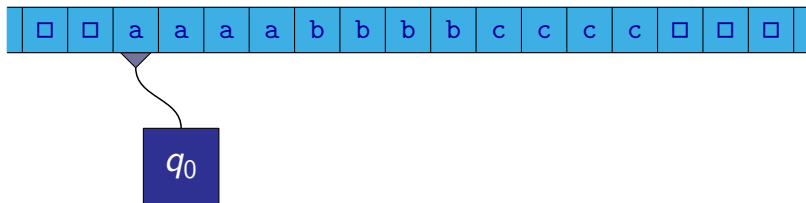
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



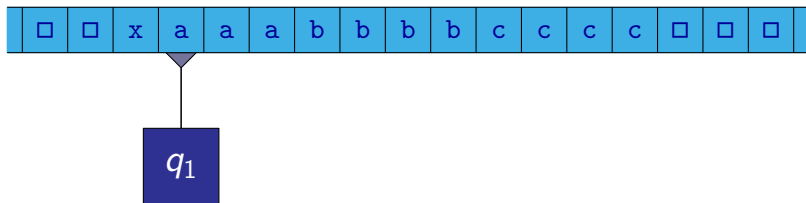
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



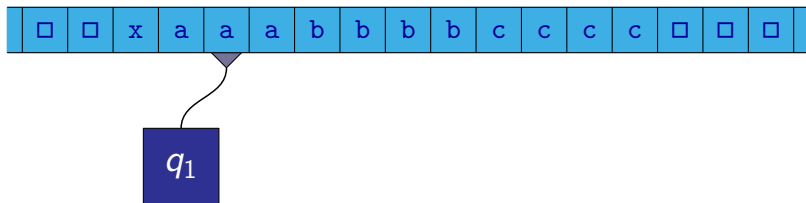
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



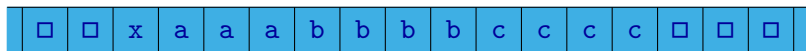
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



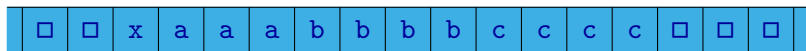
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

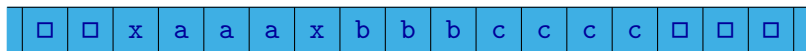
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

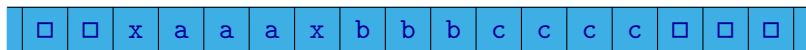
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

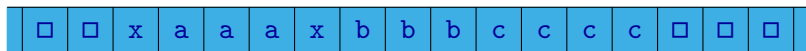
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

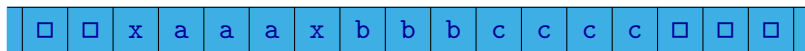
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

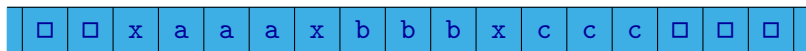
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

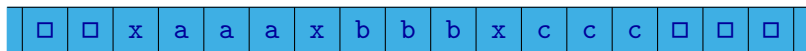
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

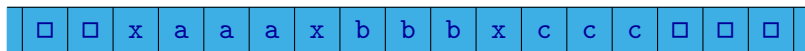
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

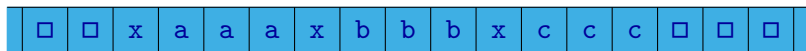
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

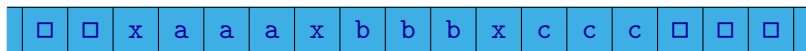
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

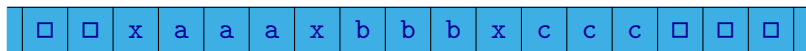
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

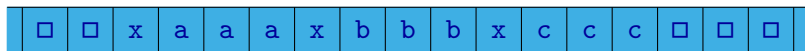
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

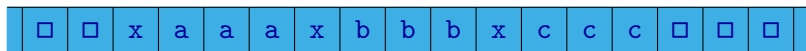
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

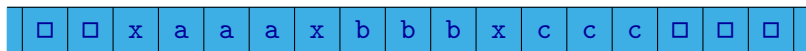
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

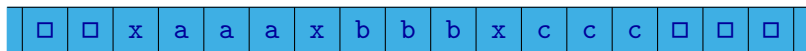
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

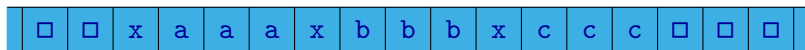
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



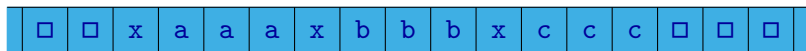
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

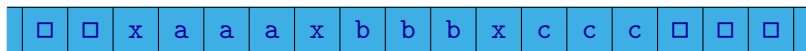
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

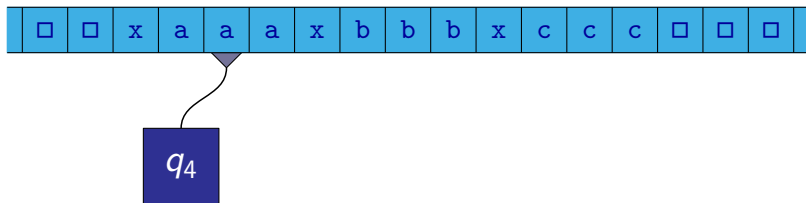
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



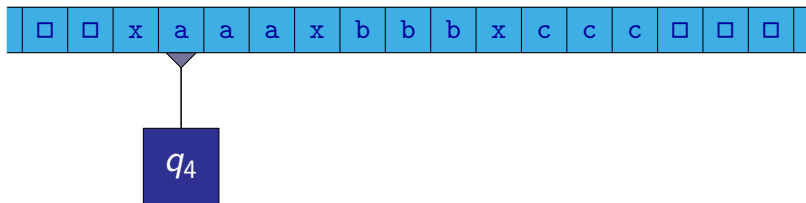
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



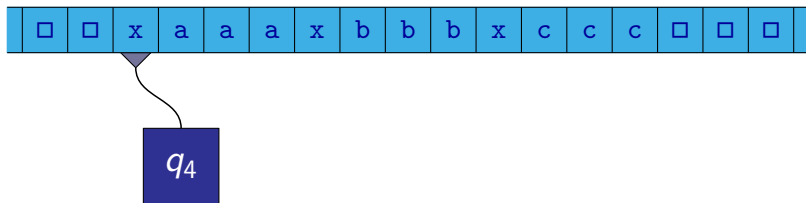
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



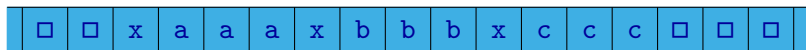
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

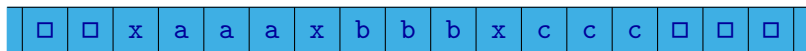
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

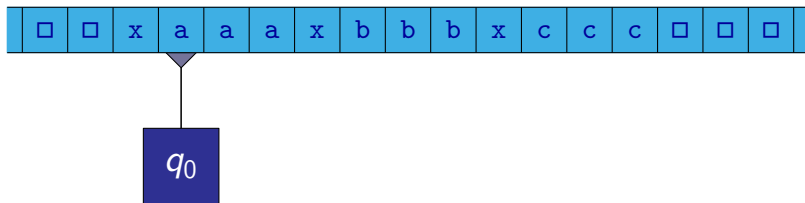
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



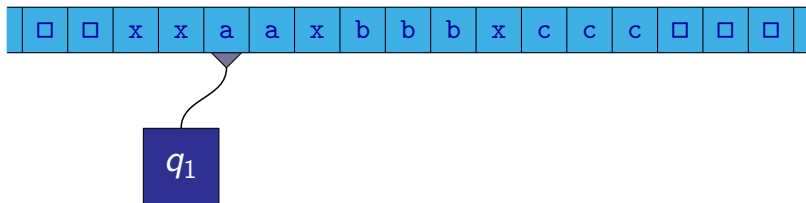
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



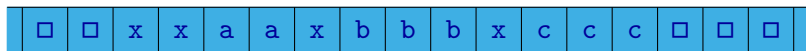
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

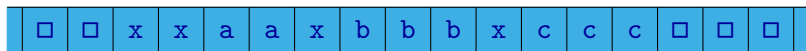
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

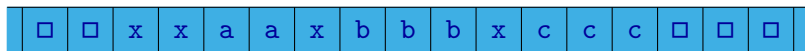
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

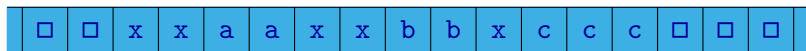
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

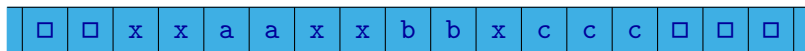
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

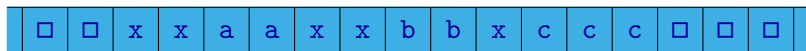
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

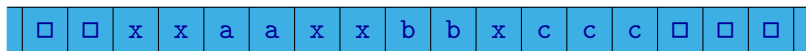
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

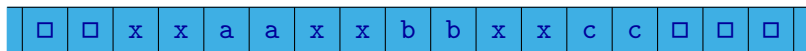
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

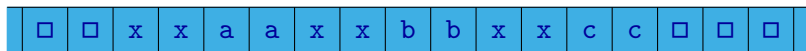
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

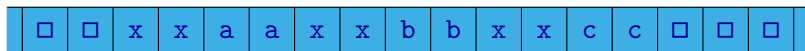
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

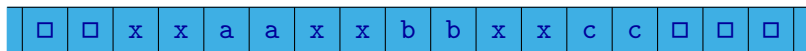
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

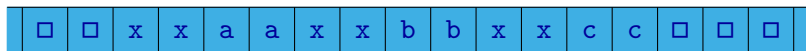
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

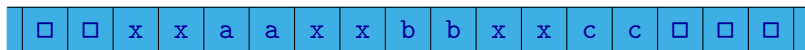
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

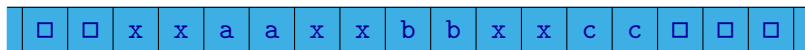
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

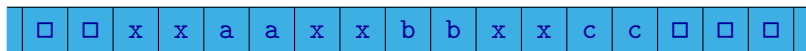
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

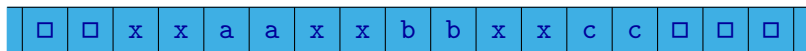
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

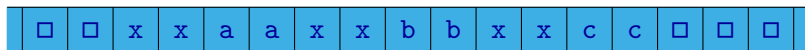
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

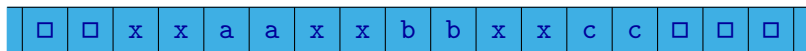
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

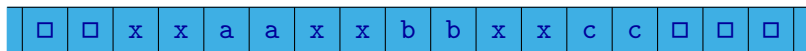
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

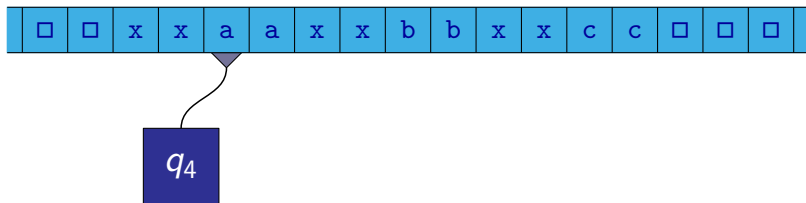
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



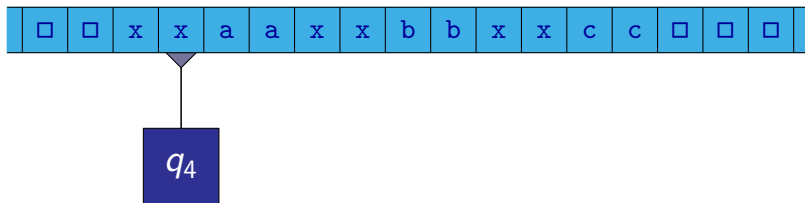
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



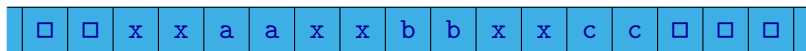
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

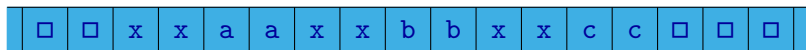
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

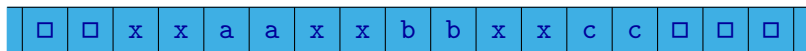
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

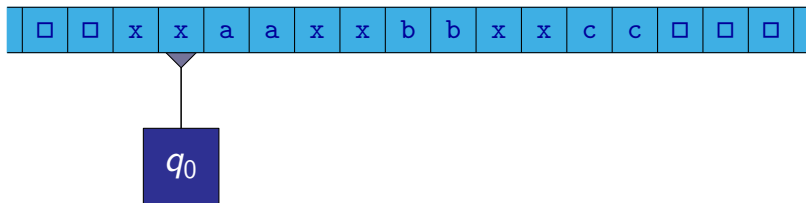
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



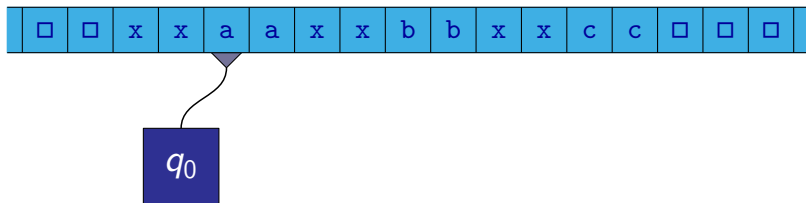
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



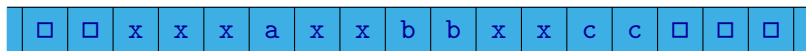
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

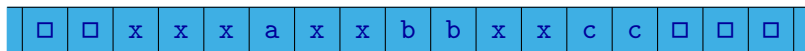
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

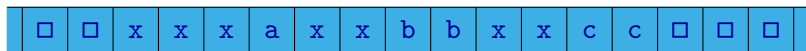
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

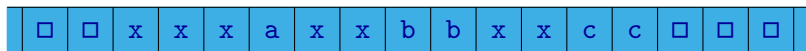
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

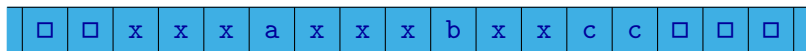
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

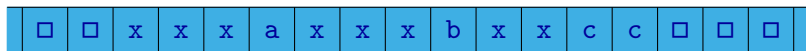
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

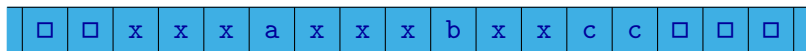
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

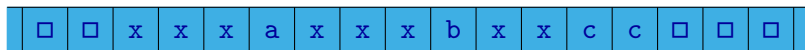
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



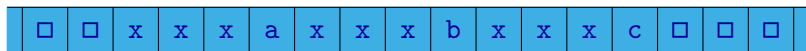
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

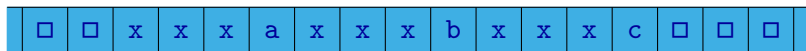
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

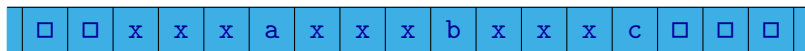
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

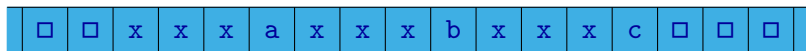
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



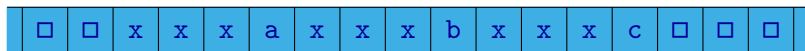
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

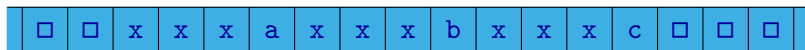
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

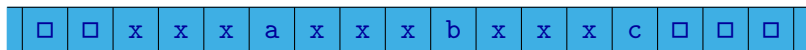
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

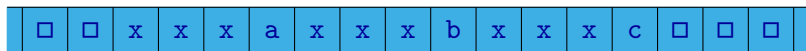
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

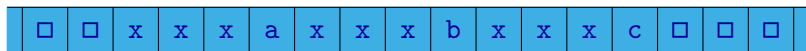
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

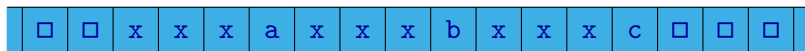
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

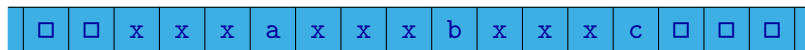
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

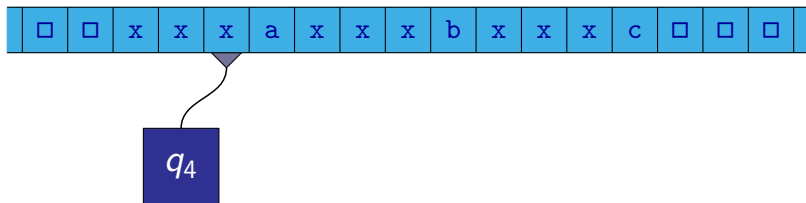
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



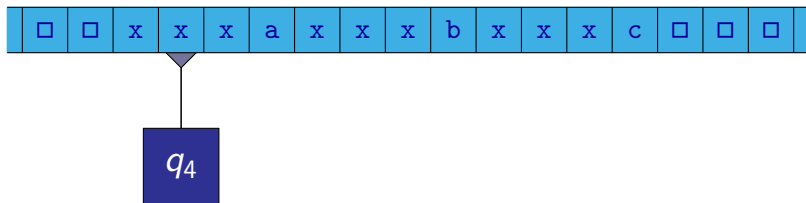
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



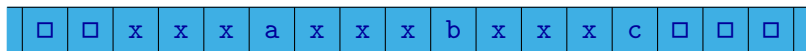
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

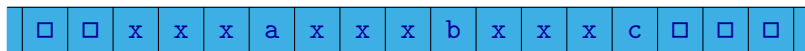
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

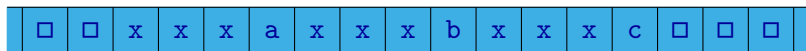
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

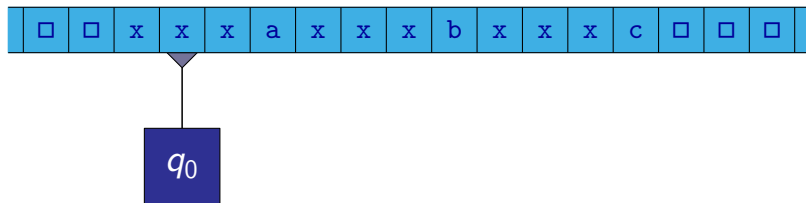
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



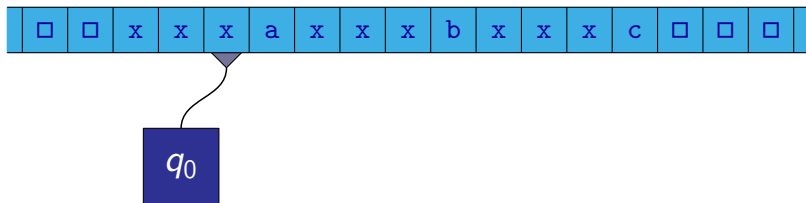
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



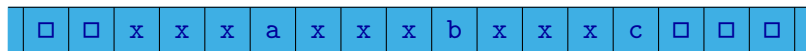
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

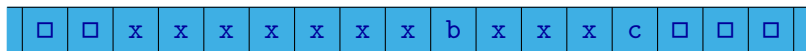
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

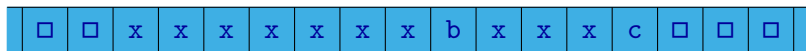
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

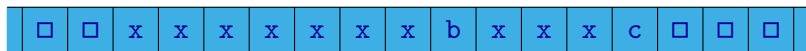
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

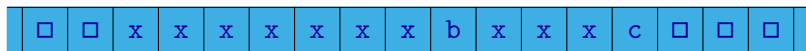
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_1

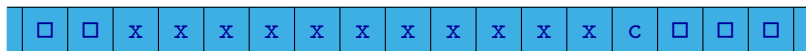
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

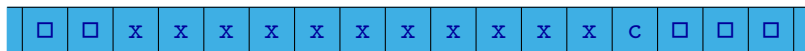
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

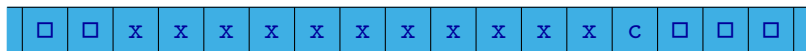
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

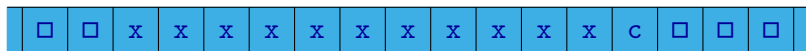
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_2

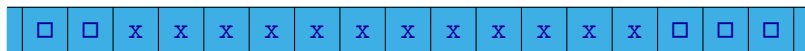
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_3

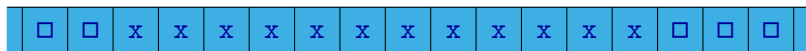
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



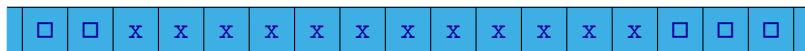
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

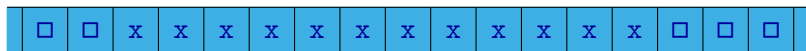
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

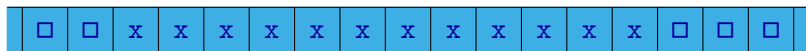
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

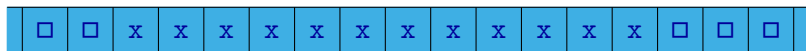
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

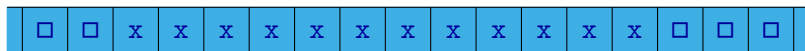
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

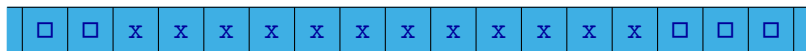
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



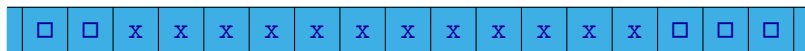
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_4

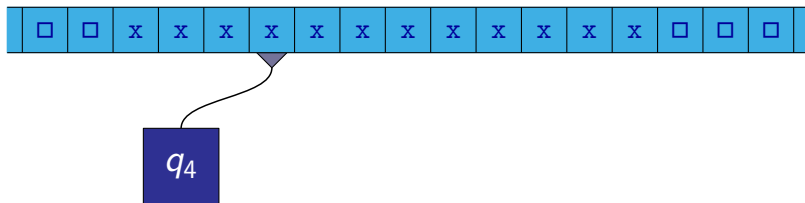
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



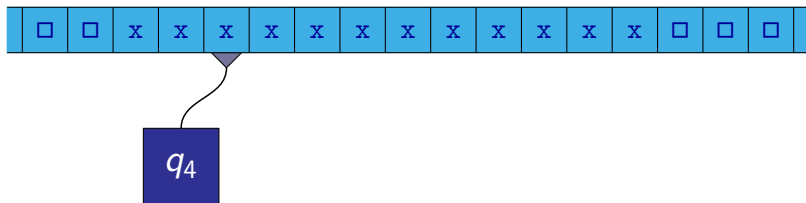
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



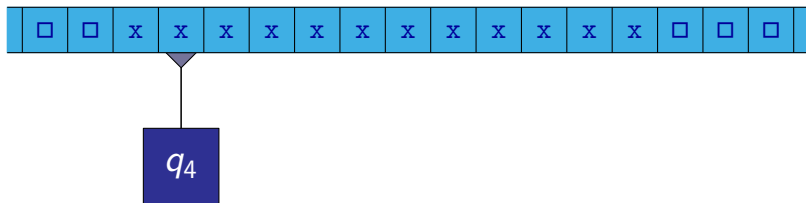
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



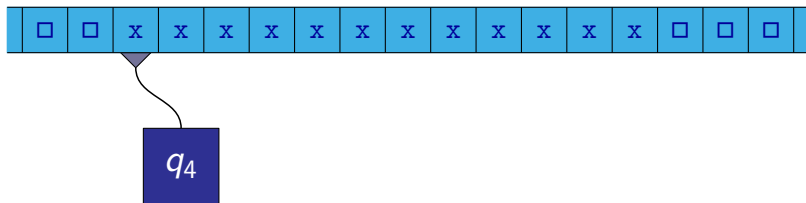
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



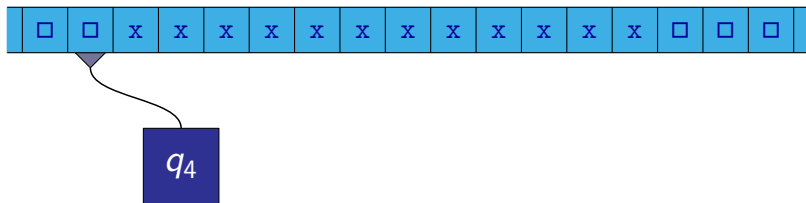
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



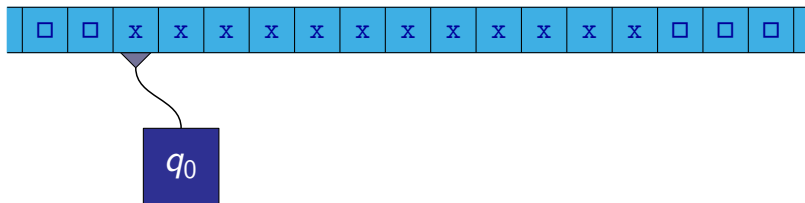
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



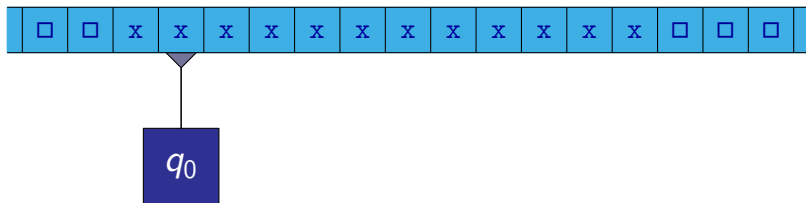
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



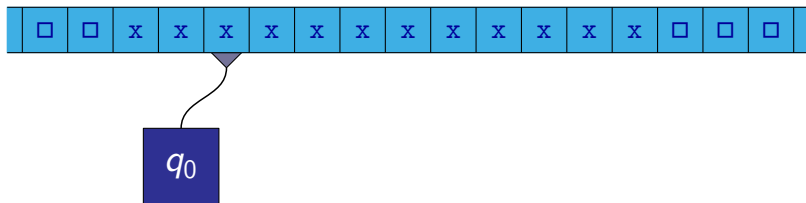
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



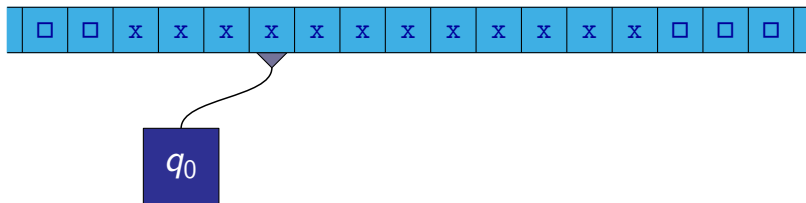
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



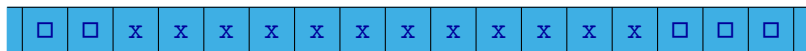
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

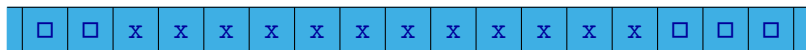
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

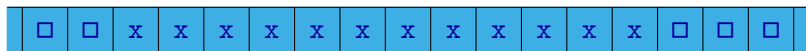
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

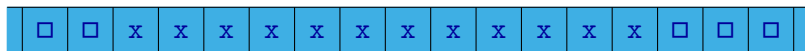
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

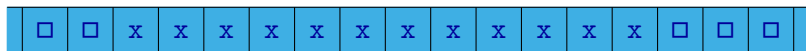
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

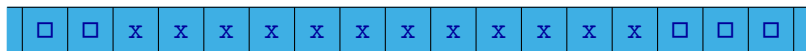
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

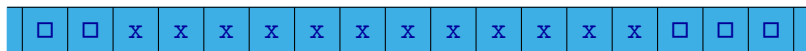
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

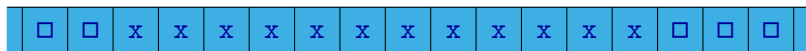
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

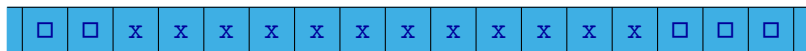
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$



q_0

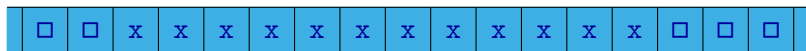
Turingův stroj

Jazyk $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$

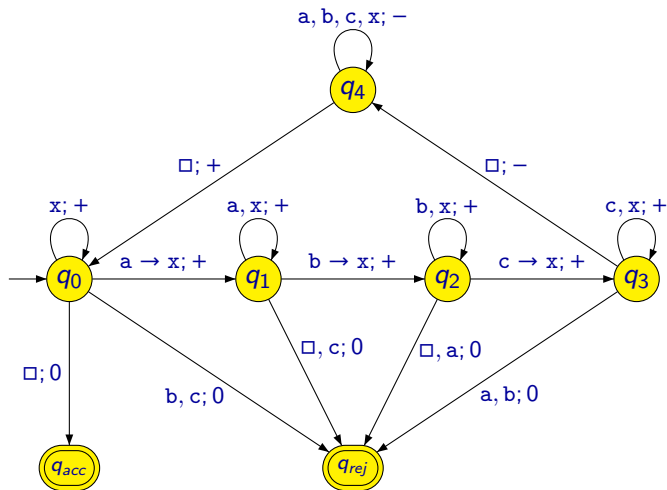
$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{acc}, q_{rej}\}$ $F = \{q_{acc}, q_{rej}\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$ $\Gamma = \{\square, a, b, c, x\}$

δ	\square	a	b	c	x
q_0	$(q_{acc}, \square, 0)$	$(q_1, x, +1)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_0, x, +1)$
q_1	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_1, a, +1)$	$(q_2, x, +1)$	$(q_{rej}, c, 0)$	$(q_1, x, +1)$
q_2	$(q_{rej}, \square, 0)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_2, b, +1)$	$(q_3, x, +1)$	$(q_2, x, +1)$
q_3	$(q_4, \square, -1)$	$(q_{rej}, a, 0)$	$(q_{rej}, b, 0)$	$(q_3, c, +1)$	$(q_3, x, +1)$
q_4	$(q_0, \square, +1)$	$(q_4, a, -1)$	$(q_4, b, -1)$	$(q_4, c, -1)$	$(q_4, x, -1)$

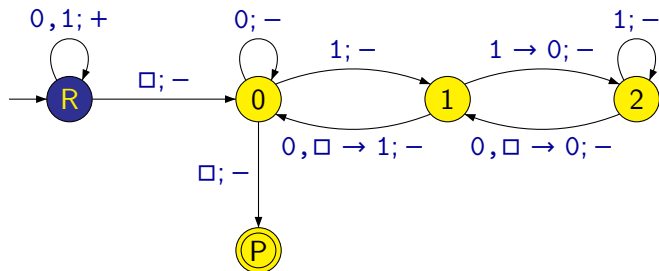


q_{acc}

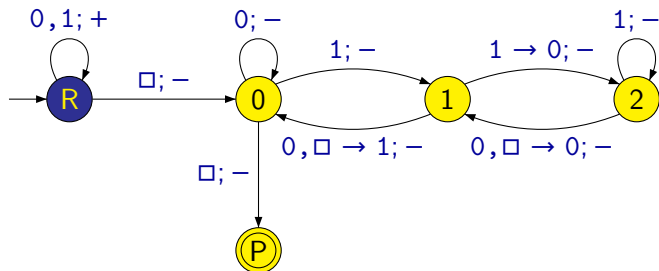


- Turingův stroj nemusí dávat jen odpověď ANO nebo NE, ale může realizovat nějakou funkci, která každému slovu ze Σ^* přiřazuje nějaké jiné slovo (z Γ^*).
- Slovo přiřazené slovu w je slovo, které zůstane zapsáno na pásce po výpočtu nad slovem w , když odstraníme všechny znaky \square .

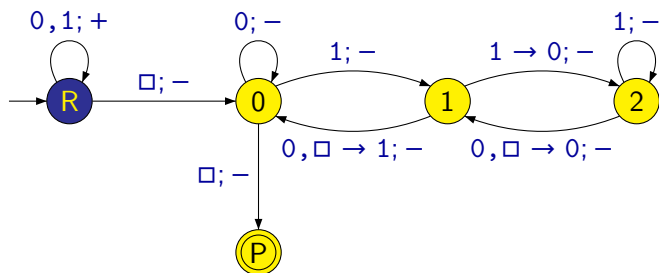
Turingův stroj – násobení třemi



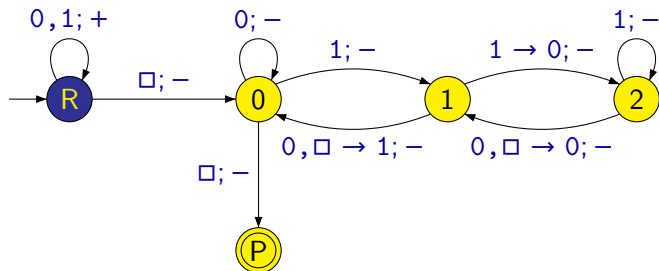
Turingův stroj – násobení třemi



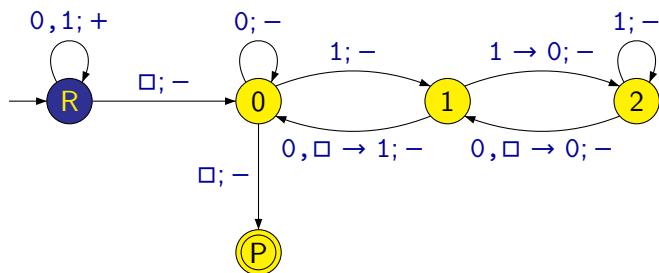
Turingův stroj – násobení třemi



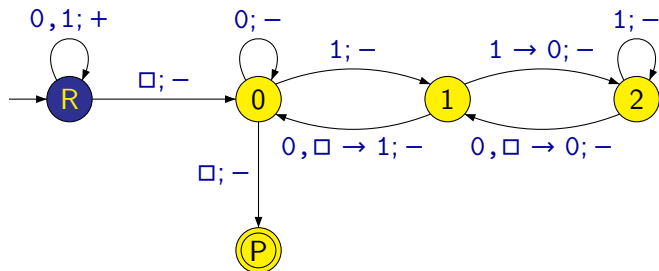
Turingův stroj – násobení třemi



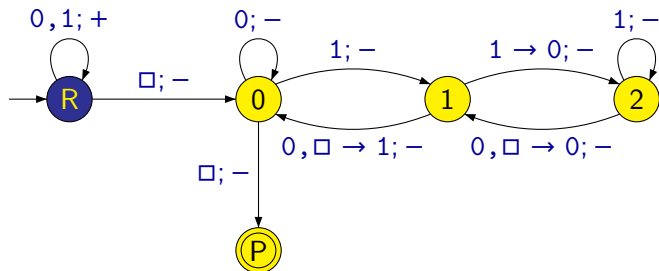
Turingův stroj – násobení třemi



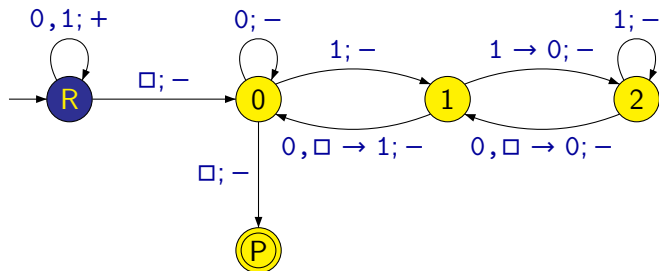
Turingův stroj – násobení třemi



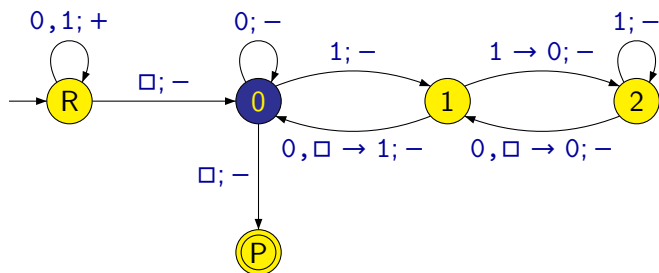
Turingův stroj – násobení třemi



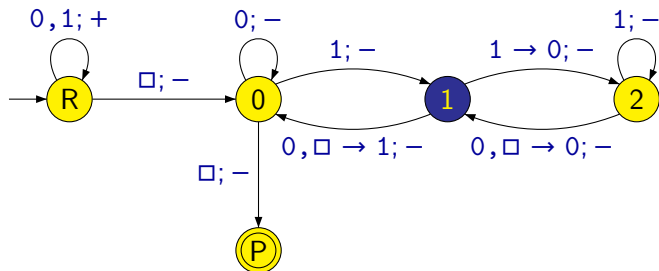
Turingův stroj – násobení třemi



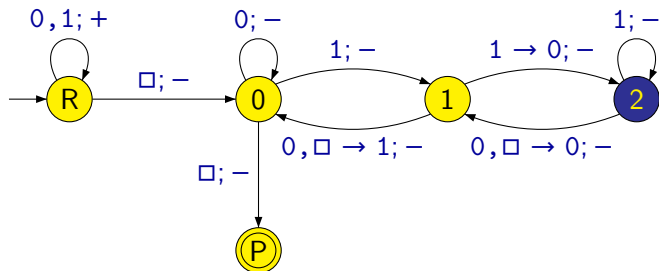
Turingův stroj – násobení třemi



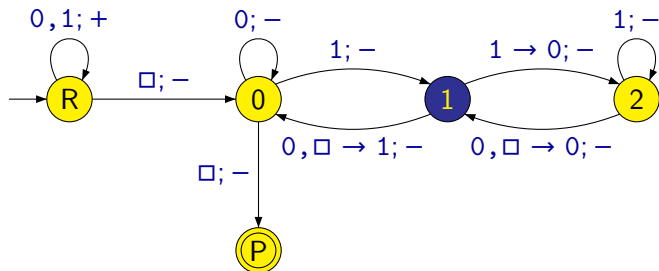
Turingův stroj – násobení třemi



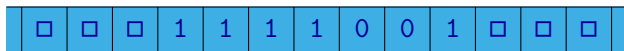
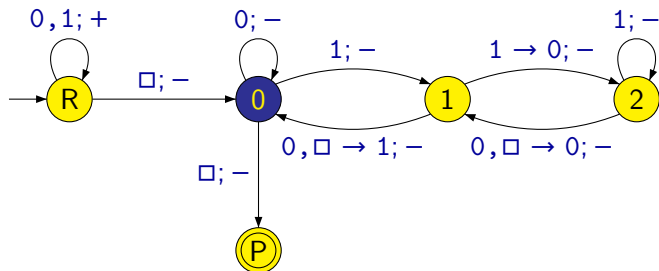
Turingův stroj – násobení třemi



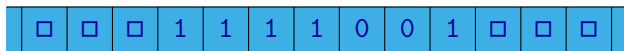
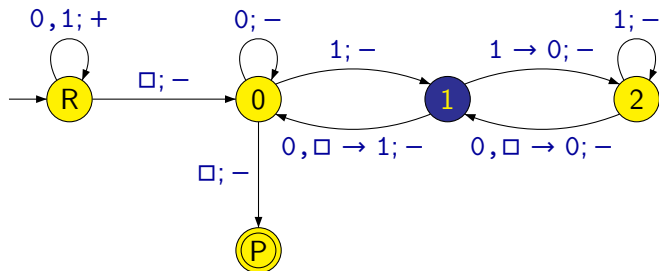
Turingův stroj – násobení třemi



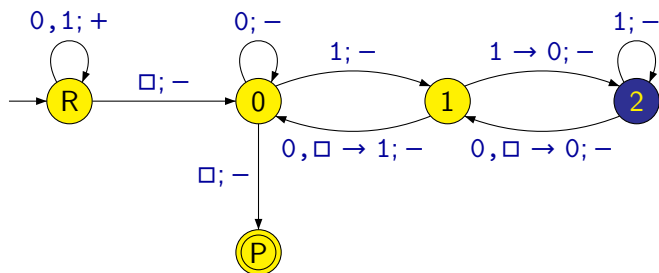
Turingův stroj – násobení třemi



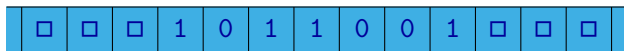
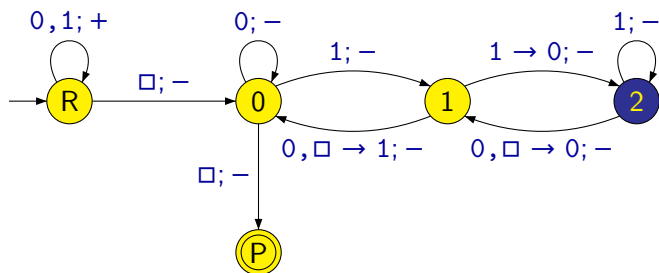
Turingův stroj – násobení třemi



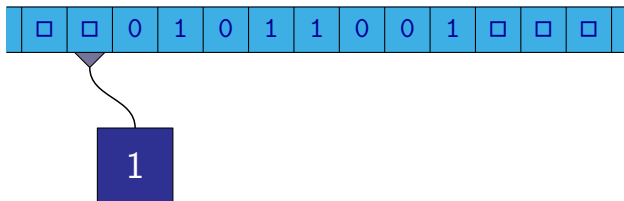
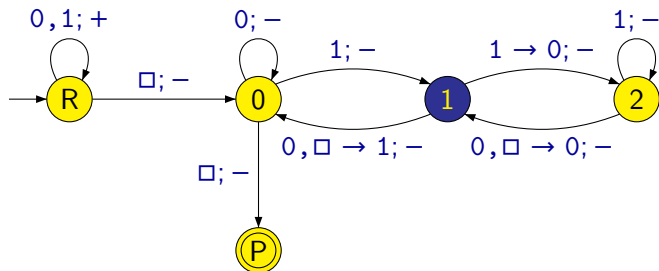
Turingův stroj – násobení třemi



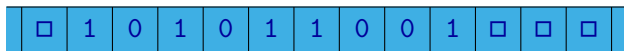
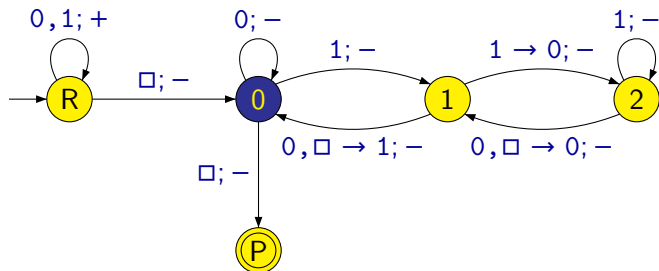
Turingův stroj – násobení třemi



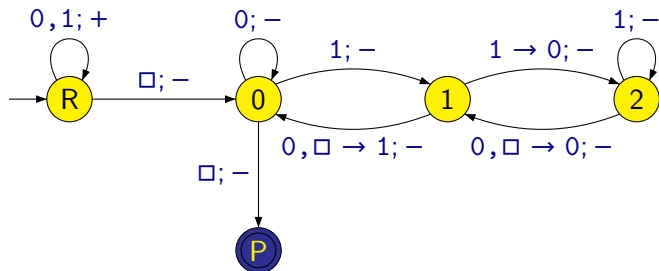
Turingův stroj – násobení třemi



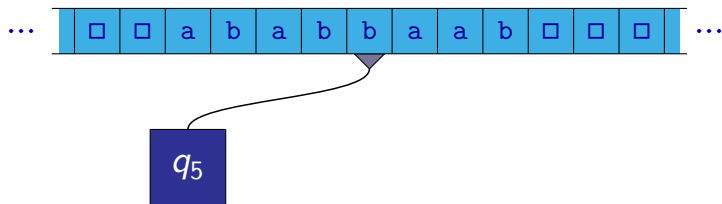
Turingův stroj – násobení třemi



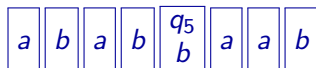
Turingův stroj – násobení třemi



Konfigurace Turingova stroje

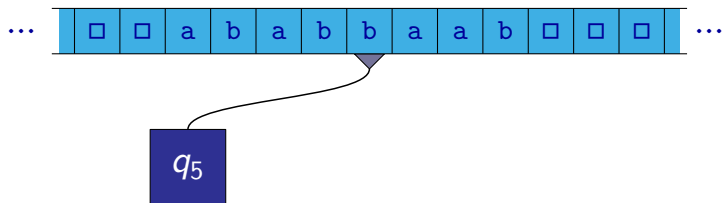


Konfigurace můžeme reprezentovat jako slova v abecedě $\Delta = \Gamma \cup (Q \times \Gamma)$:

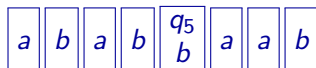


Toto slovo vždy obsahuje právě jeden znak z $(Q \times \Gamma)$, který vyznačuje stav řídicí jednotky i pozici hlavy.

Konfigurace Turingova stroje

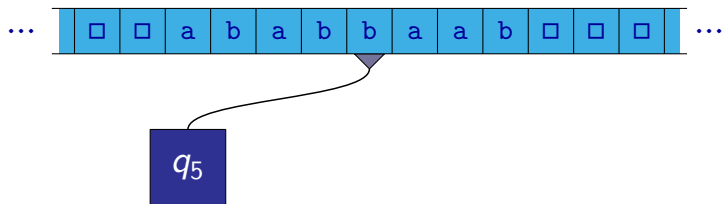


Konfigurace můžeme reprezentovat jako slova v abecedě $\Delta = \Gamma \cup (Q \times \Gamma)$:

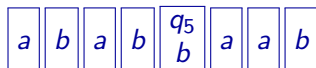


Poznámka: Znaky z $(Q \times \Gamma)$ můžeme též psát jako $\begin{bmatrix} q \\ a \end{bmatrix}$ místo $\begin{bmatrix} q, a \end{bmatrix}$.

Konfigurace Turingova stroje

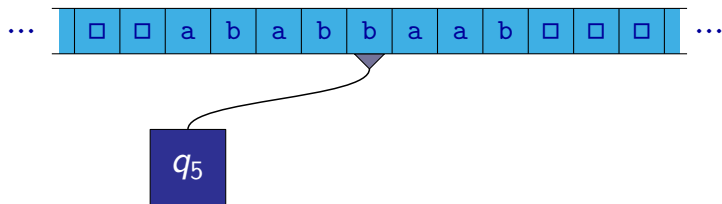


Konfigurace můžeme reprezentovat jako slova v abecedě $\Delta = \Gamma \cup (Q \times \Gamma)$:

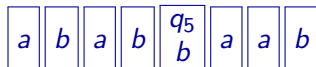


Ostatní symboly (z Γ) reprezentují obsah pásky.

Konfigurace Turingova stroje



Konfigurace můžeme reprezentovat jako slova v abecedě $\Delta = \Gamma \cup (Q \times \Gamma)$:



Políčka pásky, která nejsou ve slově vyznačena, obsahují symbol □.

Označme $Conf$ množinu všech konfigurací daného stroje $\mathcal{M} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, F)$.

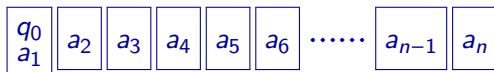
- Pokud budeme reprezentovat konfigurace Turingova stroje \mathcal{M} výše popsaným způsobem jako slova nad abecedou $\Delta = \Gamma \cup (Q \times \Gamma)$, můžeme množinu $Conf$ ztotožnit s množinou těch slov nad abecedou Δ , která obsahují právě jeden výskyt symbolu z množiny $(Q \times \Gamma)$, tj. s množinou slov tvaru

$$u(q, a)v$$

kde $q \in Q$, $a \in \Gamma$, $u, v \in \Gamma^*$.

Poznámka: Alternativně bychom mohli konfigurace reprezentovat například též jako čtveřice (u, q, a, v) , kde $q \in Q$, $a \in \Gamma$, $u, v \in \Gamma^*$.

Počáteční konfigurace konfigurace pro vstup $w \in \Sigma^*$, kde $w = a_1 a_2 \cdots a_n$, je tak reprezentována slovem



či při použití běžného matematického způsobu zápisu:

$$(q_0, a_1) a_2 a_3 \cdots a_{n-1} a_n$$

Poznámka: Pokud je $w = \varepsilon$, je počáteční konfigurace reprezentována slovem (q_0, \square) .

Chceme formálně definovat relaci

$$\longrightarrow \subseteq \text{Conf} \times \text{Conf}$$

obsahující právě ty dvojice konfigurací α a α' , pro které platí, že stroj \mathcal{M} může jedním krokem přejít z konfigurace α do konfigurace α' , což budeme zapisovat

$$\alpha \longrightarrow \alpha'$$

Výpočet Turingova stroje

Ke každé konfiguraci α tvaru

$$u(q, a)v$$

kde $q \in (Q - F)$, $a \in \Gamma$, $u, v \in \Gamma^*$, existuje právě jedna konfigurace α' taková, že $\alpha \longrightarrow \alpha'$.

Tato konfigurace α' je určena přechodovou funkcí δ .

Předpokládejme, že $\delta(q, a) = (q', a', d)$:

- Pokud $d = 0$, pak $\alpha' = u(q', a')v$.
- Pokud $d = -1$:
 - Pokud $u = \varepsilon$, pak $\alpha' = (q', \square)a'v$.
 - Pokud $u = u'b$ (kde $u' \in \Gamma^*$ a $b \in \Gamma$), pak $\alpha' = u'(q', b)a'v$.
- Pokud $d = +1$:
 - Pokud $v = \varepsilon$, pak $\alpha' = ua'(q', \square)$.
 - Pokud $v = bv'$ (kde $b \in \Gamma$ a $v' \in \Gamma^*$), pak $\alpha' = ua'(q', b)v'$.

Poznámka:

- Páska představuje neomezeně velkou „paměť“, kam si Turingův stroj může zapisovat informace.
- Tato paměť je nekonečná v **potenciálním** smyslu — na každou konfiguraci se můžeme dívat jako na konečný objekt (reprezentovaný například výše popsaným způsobem konečným slovem nad abecedou Δ).

- Můžeme si představovat, že stroj nepracuje s nekonečně velkou páskou, ale v každém kroku existuje jen konečný počet políček pásky.
- Když se hlava ocitne na levém či pravém okraji pásky a je potřeba ji posunout mimo dosud existující políčka, doplní se na daný okraj pásky nové políčko se symbolem \square .
- Na tento druh kroků se můžeme dívat jako na určitý druh „alokace“ paměti.
- Idealizace spočívá v tom, že předpokládáme, že tato „alokace“ nových políček pásky nikdy neselže.

Koncové konfigurace jsou konfigurace tvaru

$$u(q, a)v$$

kde $q \in F$, $a \in \Gamma$, $u, v \in \Gamma^*$.

Ke koncové konfiguraci α neexistuje žádná konfigurace α' taková, že $\alpha \longrightarrow \alpha'$.

Výpočet Turingova stroje \mathcal{M} nad slovem w je pak definován standardně jako konečná či nekonečná posloupnost konfigurací

$$\alpha_0 \longrightarrow \alpha_1 \longrightarrow \alpha_2 \longrightarrow \alpha_3 \longrightarrow \dots$$

kde α_0 je počáteční konfigurace stroje \mathcal{M} pro slovo w .

Později při studiu časové a paměťové složitosti pro nás budou důležité následující dvě hodnoty:

- **počet kroků**, které daný stroj vykoná při výpočtu nad daným slovem
— tato hodnota reprezentuje dobu výpočtu
- **množství políček pásky**, které daný stroj při výpočtu nad daným slovem navštíví
— tato hodnota reprezentuje množství použité paměti

Výpočet Turingova stroje

Formálně můžeme tyto pojmy reprezentovat následovně (předpokládáme daný Turingův stroj $\mathcal{M} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, F)$):

- Funkce

$$time_{\mathcal{M}} : \Sigma^* \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$$

Pro $w \in \Sigma^*$ hodnota $time_{\mathcal{M}}(w)$ udává počet kroků, které stroj \mathcal{M} vykoná při výpočtu nad vstupem w .

Tj., pokud je tento výpočet konečný a vypadá následovně

$$\alpha_0 \longrightarrow \alpha_1 \longrightarrow \alpha_2 \longrightarrow \alpha_3 \longrightarrow \dots \longrightarrow \alpha_{t-1} \longrightarrow \alpha_t$$

kde α_t je koncová konfigurace, je $time_{\mathcal{M}}(w) = t$.

V případě nekonečného výpočtu

$$\alpha_0 \longrightarrow \alpha_1 \longrightarrow \alpha_2 \longrightarrow \alpha_3 \longrightarrow \dots$$

je $time_{\mathcal{M}}(w) = \infty$.

- Funkce

$$space_{\mathcal{M}} : \Sigma^* \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$$

Pro $w \in \Sigma^*$ hodnota $space_{\mathcal{M}}(w)$ udává počet políček pásky, které stroj \mathcal{M} během výpočtu nad vstupem w navštíví.

Poznámka: Je zřejmé, že v případě konečného výpočtu je i hodnota $space_{\mathcal{M}}(w)$ konečná.

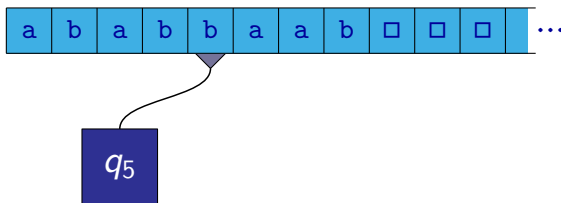
V případě nekonečného výpočtu může být hodnota $space_{\mathcal{M}}(w)$ buď konečná nebo nekonečná.

- Dříve uvedená definice Turingova stroje je jen jednou z mnoha možných variant.
- Uvedeme několik příkladů toho, v čem se mohou některé jiné varianty Turingových strojů lišit.
- Prakticky všechny tyto varianty Turingových strojů jsou schopny přijímat či rozpoznávat tytéž jazyky a počítat tytéž funkce.
- Co se týká doby výpočtu a množství použité paměti, mezi různými variantami mohou, ale nemusí být významné rozdíly.
- Všechny níže uvedené varianty můžeme uvažovat v deterministické i nedeterministické verzi.

Varianty Turingových strojů

Jednostranně či **oboustranně** nekonečná páska:

- V předchozí definici jsme uvažovali pásku, která je nekonečná jak směrem doleva, tak směrem doprava.
- Místo toho se někdy v definici Turingova stroje uvažuje páska, která je nekonečná jen směrem doprava.

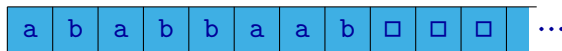


Varianty Turingových strojů

Je třeba nějak definovat, co se má stát, když se hlava nachází na nejlevějším políčku pásky a má se posunout doleva.

Dvě nejběžnější možnosti:

- Nastane „chybový“ stav, kdy se výpočet (neúspěšně) ukončí:

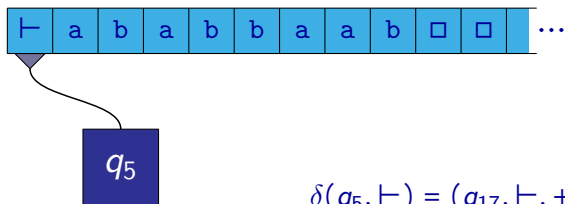


$$\delta(q_5, a) = (q_{13}, b, -1)$$

Varianty Turingových strojů

- Na levém konci pásky je „zarážka“ reprezentovaná speciálním symbolem $\vdash \in (\Gamma - \Sigma)$.

Tuto zarážku není možné přepsat a není na ní možný pohyb směrem doleva, tj. pro každé $q \in Q$ platí, že pokud $\delta(q, \vdash) = (q', b, d)$, tak $b = \vdash$ a $d \in \{0, +1\}$.



$$\delta(q_5, \vdash) = (q_{17}, \vdash, +1)$$

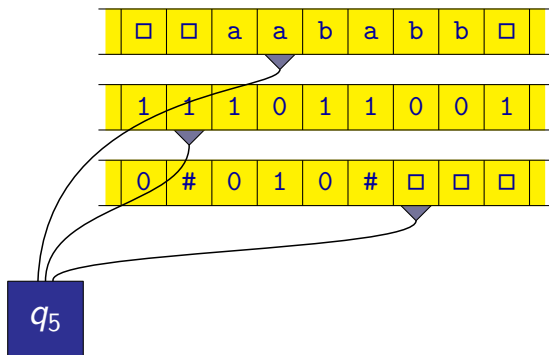
Poznámka: S možností, že výpočet může skončit neúspěšně, protože nastane nějaká chyba, kdy z dané konfigurace není možné pokračovat, ale přitom to není koncová konfigurace, se setkáme i u řady dalších strojů, kterými se budeme zabývat.

Obecně mohou při výpočtu libovolného stroje nastat následující případy:

- Výpočet skončí úspěšně v koncové konfiguraci, která odpovídá korektnímu zastavení.
- Výpočet skončí neúspěšně v konfiguraci, která není koncová, ale není v ní možné pokračovat ve výpočtu — toto chápeme tak, že výpočet skončil chybou.
- Výpočet se nikdy nezastaví.

Variety Turingových strojů

Často se také uvažují **vícepáskové Turingovy stroje**.



V případě vícepáskového stroje:

- Každá z k pásek má svou vlastní páskovou abecedu, tj. máme páskové abecedy $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_k$.
- Přejchodová funkce δ je typu

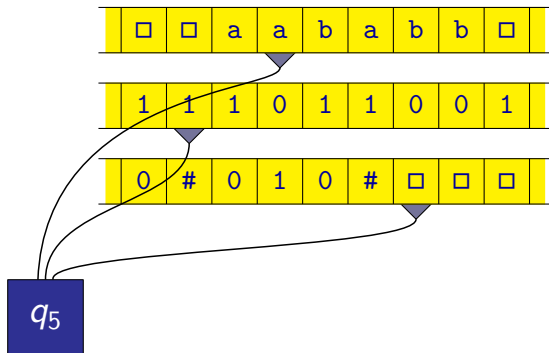
$$(Q - F) \times \Gamma_1 \times \dots \times \Gamma_k \rightarrow Q \times \Gamma_1 \times \{-1, 0, +1\} \times \dots \times \Gamma_k \times \{-1, 0, +1\}$$

Příklad:

$$\delta(q_5, a, 1, \square) = (q_{12}, a, -1, x, 0, 1, +1)$$

Variety Turingových strojů

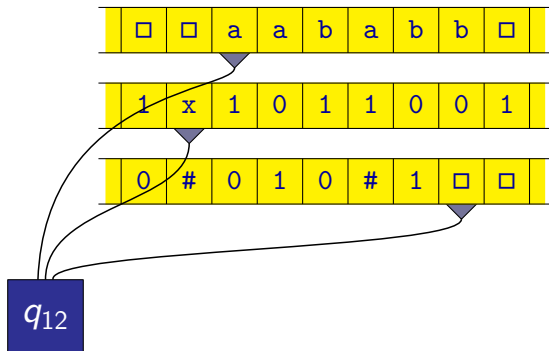
Příklad:



$$\delta(q_5, a, 1, \square) = (q_{12}, a, -1, x, 0, 1, +1)$$

Varianty Turingových strojů

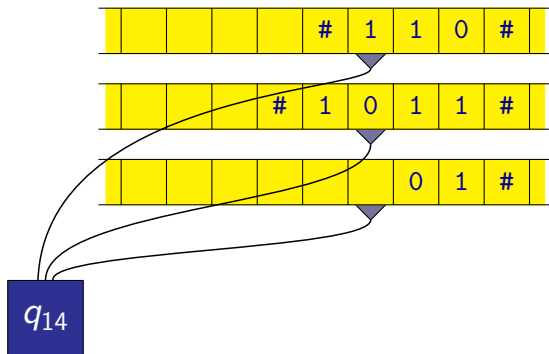
Příklad:



$$\delta(q_5, a, 1, \square) = (q_{12}, a, -1, x, 0, 1, +1)$$

Varianty Turingových strojů

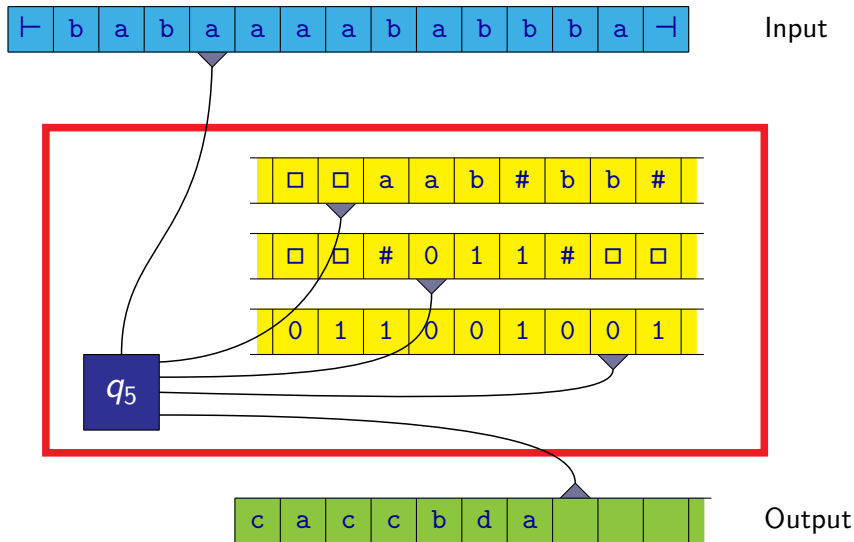
Příklad: Stroj provádějící sčítání dvou binárně zapsaných čísel ohraničených znaky # (např. čísla 6 a 11 budou zapsaná jako slova "#110#" a "#1011#").



Vícepáskové stroje mají často jednu z pásek vyčleněnu jako vstupní pásku a jednu z pásek jako výstupní pásku. Ostatní pásy pak používají jako pracovní:

- **Vstupní páska** — obsahuje vstupní slovo, není možné na ni zapisovat (je read-only), není nekonečná
- **Pracovní pásy** — je možné z nich číst i na ně zapisovat (jsou typu read/write), na začátku výpočtu jsou prázdné (obsahují pouze symboly \square)
- **Výstupní páska** — je na ni možné pouze zapisovat (je write-only), není z ní možné číst, na začátku výpočtu je prázdná, pohyb hlavy je možný jen zleva doprava

Variety Turingových strojů



Pokud má stroj vyčleněnou speciální vstupní pásku (read-only) a speciální výstupní pásku (write-only), tak typicky nejsou tyto pásy započítávány do množství použité paměti.

Hodnota $space_{\mathcal{M}}(w)$ v takovém případě udává celkové množství buněk na pracovních páskách navštívených během výpočtu.

Poznámka: Takto definovat množství použité paměti má smysl především v těch případech, kdy počet použitých políček na pracovních páskách je výrazně menší než velikost vstupu a výstupu.

Pokud má stroj vyčleněnou speciální vstupní pásku (která je read-only), používají se typicky dvě následující varianty:

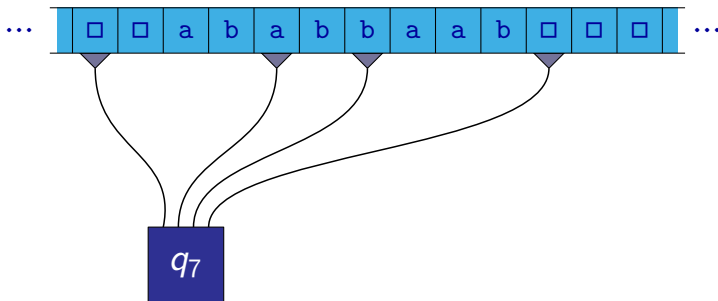
- Na této vstupní pásce je možný pohyb hlavy doleva i doprava. Vstupní slovo $w \in \Sigma^*$ je v takovém případě ohraničeno zleva a zprava pomocí „zarážek“, tj. speciálních symbolů $\vdash, \dashv \in (\Gamma - \Sigma)$.
- Na vstupní pásce je možný pohyb hlavy pouze zleva doprava.

Poznámka: Varianta s možným pohybem hlavy na obě strany a se zarážkami je obvyklejší.

Pokud nebude řečeno jinak, budeme uvažovat tuto variantu.

Variety Turingových strojů

Místo více pásek je možné též uvažovat **více hlav** na jedné pásce:



V případě více hlav na jedné pásce, je třeba specifikovat:

- Zda se může více hlav nacházet současně na jednom políčku pásky.
- A pokud ano, jak je definováno chování daného stroje v případě, že hlavy nacházející se na stejném políčku budou chtít na toto políčko zapsat rozdílné symboly.
- Zda je daný stroj schopen detekovat to, že se dvě nebo více hlav nacházejí současně na témže políčku.

Poznámka: Samozřejmě obecně můžeme uvažovat stroje s více páskami, kde každá z těchto pásek může být vybavena více hlavami.

Uvažujme stroj s více páskami a s libovolným počtem hlav na každé pásce.

Místo toho, aby stroj pracoval v každém kroku zároveň se všemi hlavami, můžeme jeho činnost popisovat jako „program“ skládající se z jednodušších instrukcí následujících typů:

- posunout danou hlavu o jedno políčko doleva
- posunout danou hlavu o jedno políčko doprava
- zapsat na pozici dané hlavy daný specifikovaný symbol
- přečíst z pozice dané hlavy jeden symbol a provést větvení programu (tj. jít do různých stavů řídicí jednotky) v závislosti na tom, o jaký symbol se jedná

Zatím jsme uvažovali jen **lineární** (jednorozměrné) pásky.

Místo jednorozměrné pásky může mít paměť s políčky (kde každé políčko obsahuje jeden znak z nějaké dané abecedy) nějakou jinou strukturu.

Například:

- dvourozměrná **čtverečková rovina**
— pohyb hlavy do čtyř směrů: doleva, doprava, nahoru, dolů
- d -rozměrná paměť pro nějaké $d = 3, 4, \dots$
(třírozměrná, čtyřrozměrná, atd.)
- paměť organizovaná ve formě (nekonečného) stromu
- ...