Cvičenie 2 - Konečné automaty

Ing. Viliam Hromada, PhD.

Ústav informatiky a matematiky
FEI STU

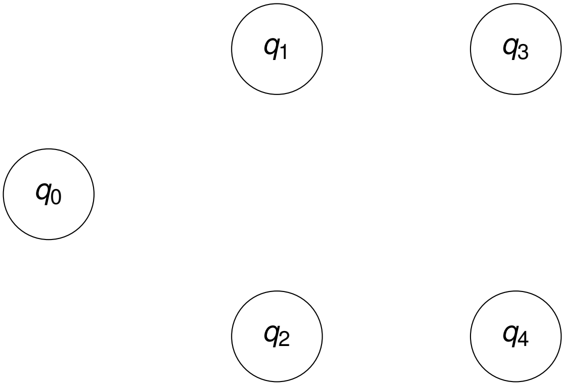
viliam.hromada@stuba.sk

Príklad č. 1

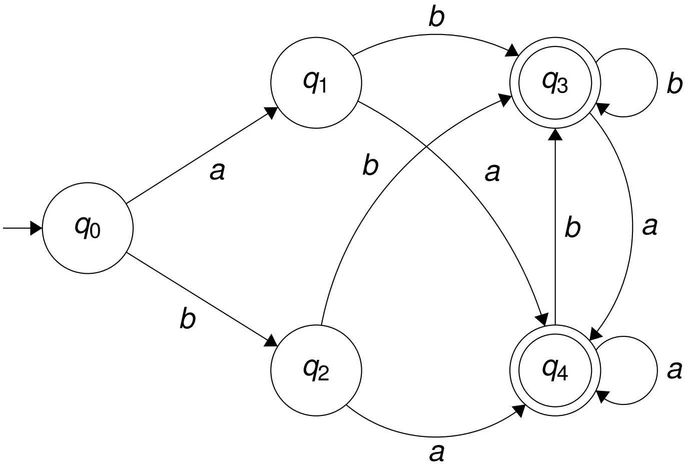
Pre DKA $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_3, q_4\})$ nakreslite jeho grafickú reprezentáciu, simulujte výpočet slov ε, a, b, ab, ba a pokúste sa určiť, aký jazyk akceptuje. Prechodová funkcia δ:

δ	a	b
q_0	q_1	q_2
q_1	q_4	q_3
q_2	q_4	q_3
q_3	q_4	q_3
q_4	q_4	q_3

Príklad č. 1 - grafická reprezentácia



Príklad č. 1 - grafická reprezentácia



Príklad č. 1 - výpočty automatu pre slová

- $\varepsilon : (q_0, \varepsilon)$. $q_0 \notin F$, t.j. $\varepsilon \notin L(M)$. $\times$
- $a : (q_0, a) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \notin F$, t.j. $a \notin L(M)$. $\times$
- $b : (q_0, b) \vdash (q_2, \varepsilon)$. $q_2 \notin F$, t.j. $b \notin L(M)$. $\times$
- $ab : (q_0, ab) \vdash (q_1, b) \vdash (q_3, \varepsilon)$. $q_3 \in F$, t.j. $ab \in L(M)$. $\checkmark$
- $ba : (q_0, ba) \vdash (q_2, a) \vdash (q_4, \varepsilon)$. $q_4 \in F$, t.j. $ba \in L(M)$. $\checkmark$

Vidíme, že po ľubovoľných 2 symboloch sa automat dostane do jedného zo stavov q_3, q_4. Následne sa pre ľubovoľný reťazec pohybuje len v týchto stavoch a keďže oba sú akceptačné, akceptuje teda ľubovoľné slová nad abecedou $\{a, b\}$, ktoré sú dĺžky aspoň 2, t.j. $L(M) = \{w \in \{a, b\}^* \mid |w| \geq 2\}$

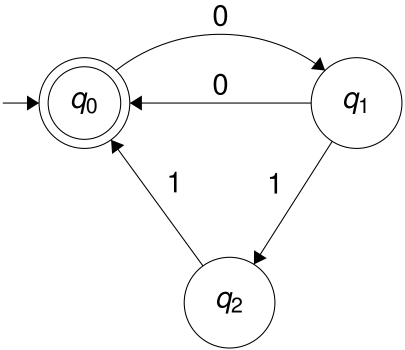
Príklad č. 2

Je daný DKA $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$. $Q = \{q_0, q_1, q_2\}$, $\Sigma = \{0, 1\}$, q_0 je počiatočný stav, akceptačné stavy $F = \{q_0\}$, prechodová funkcia δ je daná prechodovou tabuľkou:

δ	0	1
q_0	q_1	
q_1	q_0	q_2
q_2		q_0

Uveďte výpočet reťazcov: $\varepsilon, 000, 011, 010, 101$ a pokúste sa určiť, aký jazyk automat akceptuje.

Príklad č. 2 - grafická reprezentácia



Príklad č. 2 - výpočty

- (q_0, ε). Automat teda po prečítaní celého vstupného ε skončil v akceptačnom stave q_0, $q_0 \in F$, a teda $\varepsilon \in F$.
- $(q_0, 000) \vdash (q_1, 00) \vdash (q_0, 0) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \notin F \Rightarrow 000 \notin L(M)$, teda 000 automat neakceptuje.
- $(q_0, 011) \vdash (q_1, 11) \vdash (q_2, 1) \vdash (q_0, \varepsilon)$. $q_0 \in F \Rightarrow 011 \in L(M)$, teda 011 automat akceptuje.
- $(q_0, 010) \vdash (q_1, 10) \vdash (q_2, 0) \vdash ???$. Automat nedokáže prečítať celý vstup 010, teda neexistuje výpočet, ktorý by skončil v akceptačnej konfigurácii: $(q_0, 010) \vdash^* (q_0, \varepsilon)$. Preto reťazec $010 \notin L(M)$ a teda automat ho neakceptuje.
- $(q_0, 101) \vdash ???$. Automat nedokáže prečítať celý vstup 101, teda neexistuje výpočet, ktorý by skončil v akceptačnej konfigurácii: $(q_0, 101) \vdash^* (q_0, \varepsilon)$. Preto reťazec $101 \notin L(M)$ a teda automat ho neakceptuje, **napriek tomu, že sa zasekol v akceptačnom stave q_0.**

Príklad č. 2 - výpočty

- Z pohľadu na automat je zrejmé, že konečný automat akceptuje také reťazce, po ktorých prečítaní sa zo stavu q_0 vráti do stavu q_0.
- Podreťazce týchto reťazcov teda musia pozostávať z 00 alebo 011, pretože pre tieto reťazce vie DKA prejsť zo stavo q_0 späť do stavu q_0.
- Čiže jazyk automatu by sme vedeli popísať nasledovne: $L(M) = \{00, 011\}^*$, teda ako iteráciu (*) množiny $\{00, 011\}$, čiže reťazce pozostávajúce z častí 00 a 011.

Príklad č. 3

Vidíme, že DKA z úlohy 2 je neúplný - existujú kombinácie (stav, vstupný symbol), ktoré nie sú definované, konkrétne:

- $\delta(q_0, 1)$
- $\delta(q_2, 0)$

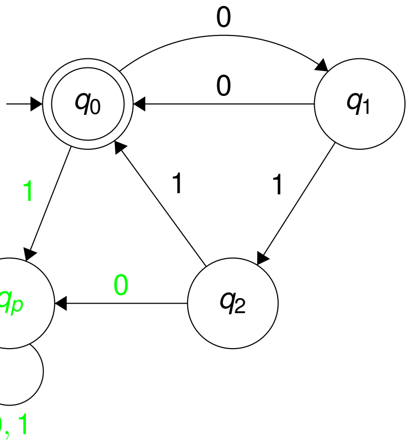
Doplňte DKA z úlohy č. 2 na **úplný DKA.**

Pre doplnenie DKA na úplný stačí pridať nový **neakceptačný** stav - **pascu** q_p a doplniť prechody pre všetky nedefinované kombinácie (stav, vstupný symbol) tak, aby viedli do nového stavu q_p, t.j.

δ	0	1
q_0	q_1	q_p
q_1	q_0	q_2
q_2	q_p	q_0
q_p	q_p	q_p

V tomto novom automate je nová množina stavov $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_p\}$. Počiatočný stav aj akceptačné stavy zostali rovnaké.

Grafický:



Príklad č. 3 - výpočty

Doplnenie DKA na úplný má za následok, že každý výpočet teraz skončí prečítaním celého vstupu:

- (q_0, ε). $q_0 \in F$, a teda $\varepsilon \in L(M)$, čiže automat akceptuje prázdny reťazec.
- $(q_0, 000) \vdash (q_1, 00) \vdash (q_0, 0) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \notin F \Rightarrow 000 \notin L(M)$, teda 000 automat neakceptuje.
- $(q_0, 011) \vdash (q_1, 11) \vdash (q_2, 1) \vdash (q_0, \varepsilon)$. $q_0 \in F \Rightarrow 011 \in L(M)$, teda 011 automat akceptuje.
- $(q_0, 010) \vdash (q_1, 10) \vdash (q_2, 0) \vdash (q_p, \varepsilon)$. $q_p \notin F$, teda $010 \notin L(M)$.
- $(q_0, 101) \vdash (q_p, 01) \vdash (q_p, 1) \vdash (q_p, \varepsilon)$. $q_p \notin F$, teda $101 \notin L(M)$.

Príklady na DKA

Nájdite DKA, ktorý akceptuje jazyk:

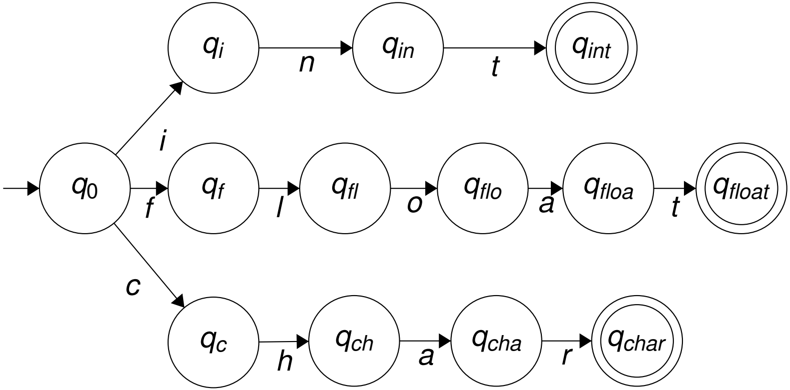
- $L_1 = \{char, float, int\}$ nad abecedou $A = \{a, b, c, d, ..., z\}$.
- $L_2 = \{xaby \mid x \in \{a, b\}^*, y \in \{a, b\}^*\}$ nad abecedou $A = \{a, b\}$.
- $L_3 = \{w \in \{a, b\}^* \mid \sharp_a(w) \equiv 0 \text{ mod } 3\}$ nad abecedou $A = \{a, b\}$.
- $L_4 = \{w \in \{0, 1\}^* \mid w$ je binárny rozvoj nezáporného čísla deliteľného 3$\}$ nad abecedou $A = \{0, 1\}$.

Jazyk L_1

Musíme zostrojiť DKA, ktorý bude akceptovať len 3 reťazce nad abecedou malých písmen anglickej abecedy:

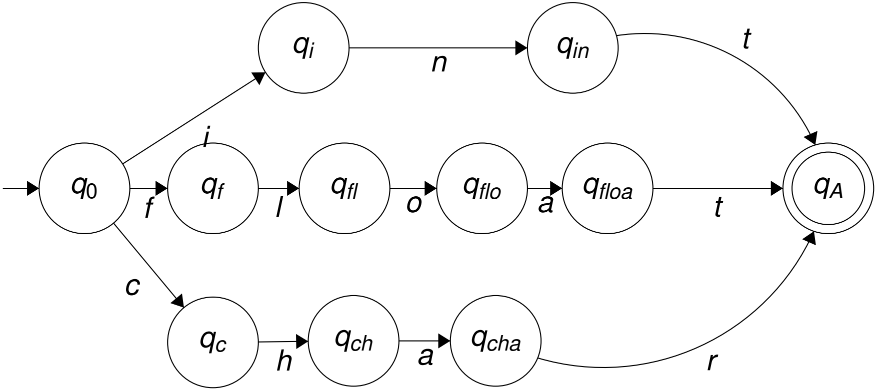
- *char*
- *float*
- *int*

Stačí činnosť DKA rozdeliť na 3 "časti" - každá bude pracovať na akceptácii jedného z reťazcov.



q_i
q_{in}
q_{int}
q_0
q_f
q_{fl}
q_{flo}
q_{floa}
q_{float}
q_c
q_{ch}
q_{cha}
q_{char}
i
n
t
f
l
o
a
t
c
h
a
r

Uvedený DKA je neúplný - ale to neprekáža, pretože jazyk uvedeného DKA je práve $L(M) = \{int, float, char\} = L_1$. Rovnako dobrý by bol aj DKA, v ktorom by sme zlúčili akceptačné stavy do 1 akceptačného stavu q_A:



Jazyk L_2

Musíme zostrojiť DKA, ktorý bude akceptovať také reťazce nad abecedou $A = \{a, b\}$, ktoré ako podreťazec obsahujú ab, t.j. napr:

- **ab**
- *a***ab**, *b***ab**, **ab***a*, **ab***b*
- *a***ab***a*, *a***ab***b*, *b***ab***a*, *b***ab***b*, *aa***ab**, *ab***ab**, *ba***ab**, *bb***ab**, **ab***aa*, **ab***ab*, **ab***ba*, **ab***bb*
- a tak ďalej...

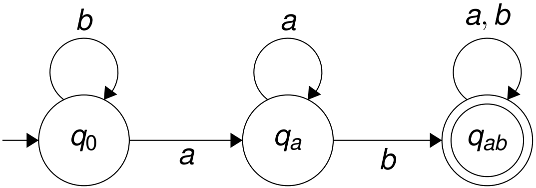
Činnosť DKA musí teda do akceptačného stavu dovoliť výpočtu prejsť **len vtedy**, ak bude na vstupe detegovaná postupnosť *ab* ako súčasť vstupného reťazca.

Návrh

- DKA navrhneme tak, aby prešiel do akceptačného stavu **v momente**, keď bude prečítaná časť vstupu zodpovedajúca **práve** *ab*.
- Na začiatku sme v stave q_0. Ak je práve čítaný symbol b, tak vieme, že sme sa neposunuli bližšie k akceptácii, pretože pred týmto b určite nebolo čítané a. Preto zostaneme v stave q_0.
- Ak ale v stave q_0 čítame a, tak sa posunieme do stavu q_a, ktorý znamená, že **posledný čítaný symbol** bolo a.

Návrh

- V stave q_a sú 2 možnosti:
  1. Ak je ďalší čítaný symbol a, tak po jeho prečítaní zostávame v stave q_a, pretože v tomto stave sme, ak bol **posledný čítaný** a.
  2. Ak je ďalší čítaný symbol b, tak po jeho prečítaní prejdeme do stavu q_{ab}, pretože sme práve zistili ,že **posledné dva čítané symboly** tvoria reťazec ab, teda čo, **čo hľadáme**.
- Stav q_{ab} je teda **akceptačný** a zároveň sú v ňom slučky pre symboly a, b pretože už máme istotu, že sme mali na vstupe reťazec, ktorý obsahuje a, b a teraz ho už len potrebujeme dočítať do konca s akceptáciou.


b
a
a, b
q0
a
qa
b
qab

Uvedený automat vieme formálne popísať nasledovne: DKA $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, kde:

- $Q = \{q_0, q_a, q_{ab}\}$.
- $\Sigma = \{a, b\}$
- q_0 je počiatočný stav
- $F = \{q_{ab}\}$
- Prechodová funkcia δ je daná:
  1. $\delta(q_0, a) = q_a$
  2. $\delta(q_0, b) = q_0$
  3. $\delta(q_a, a) = q_a$
  4. $\delta(q_a, b) = q_{ab}$
  5. $\delta(q_{ab}, a) = q_{ab}$
  6. $\delta(q_{ab}, b) = q_{ab}$

Jazyk L_3

Musíme zostrojiť DKA, ktorý bude akceptovať také reťazce nad abecedou $A = \{a, b\}$, v ktorých je počet symbolov a deliteľný 3, napr.

- $\varepsilon, b, bb, bbb, \ldots$
- $aaa, aaab, aaba, abaa, baaa, baaab, \ldots$
- $aaaaaa, aaabaaa, abababababab, \ldots$

DKA teda bude sledovať počas svojej činnosti, ako sa mení hodnota zvyšku po delení trojkou pre doteraz prečítaný počet symbolov a. Keďže po delení 3 prichádzajú do úvahy 3 rôzne zvyšky, DKA bude mať 3 rôzne stavy.

Jazyk L_3

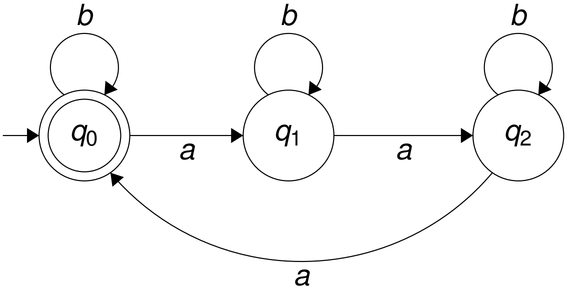
Musíme zostrojiť DKA, ktorý bude akceptovať také reťazce nad abecedou $A = \{a, b\}$, v ktorých je počet symbolov a deliteľný 3, napr.

- ε, b, bb, bbb, ...
- aaa, $aaab$, $aaba$, $abaa$, $baaa$, $baaab$, ...
- $aaaaaa$, $aaabaaa$, $abababababab$, ...

Analýza

DKA teda bude sledovať počas svojej činnosti, ako sa mení hodnota zvyšku po delení trojkou pre doteraz prečítaný počet symbolov a. Keďže po delení 3 prichádzajú do úvahy 3 rôzne zvyšky, DKA bude mať 3 rôzne stavy:

- q_0 - v tomto stave sa DKA nachádza, ak bol doteraz prečítaný počet a deliteľný 3
- q_1 - v tomto stave sa DKA nachádza, ak doteraz prečítaný počet a dáva po delení 3 zvyšok 1
- q_2 - v tomto stave sa DKA nachádza, ak doteraz prečítaný počet a dáva po delení 3 zvyšok 2
- Je zrejmé, že na zmenu stavu vplýva len čítanie symbolu a, t.j. $\delta(q_0, a) = q_1, \delta(q_1, a) = q_2, \delta(q_2, a) = q_0$, avšak nie čítanie symbolu b, t.j. $\delta(q_0, b) = q_0, \delta(q_1, b) = q_1, \delta(q_2, b) = q_2$.


b
b
b
q0
a
q1
a
q2
a

Uvedený automat vieme formálne popísať nasledovne: DKA $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, kde:

- $Q = \{q_0, q_1, q_2\}$.
- $\Sigma = \{a, b\}$
- q_0 je počiatočný stav
- $F = \{q_0\}$
- Prechodová funkcia δ je daná:
  1. $\delta(q_0, a) = q_1$
  2. $\delta(q_0, b) = q_0$
  3. $\delta(q_1, a) = q_2$
  4. $\delta(q_1, b) = q_1$
  5. $\delta(q_2, a) = q_0$
  6. $\delta(q_2, b) = q_2$

Jazky L_4

Do jazyka L_4 patria textové reťazce predstavujúce binárny rozvoj nezáporného čísla deliteľného 3, t.j. napr.

- $0, 11, 110, 1001, 1100, 1111, 10010, \ldots$

Pretože predstavujú čísla 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, ... Rovnako tam však môžu patriť aj reťazce:

- $000, 011, 00110, 01001, \ldots$

t.j. reťazce predstavujúce binárny rozvoj s **bezvýznamnými nulami zľava** nezáporného čísla deliteľného 3.

Analýza

Keďže vstup predstavuje binárny rozvoj a čítame ho zľava-doprava, budeme musieť mať po každom prečítanom symbole zachytenú informáciu, aký je zvyšok po delení 3 aktuálne prečítaného binárneho reťazca. Keďže po delení 3 existujú 3 zvyšky: 0, 1, 2, určite potrebujeme 3 stavy:

1. q_0
2. q_1
3. q_2

Na začiatku nemáme prečítaný žiaden symbol, teda nemáme definovaný žiaden zvyšok po delení 3. Preto počiatočný stav bude nejaký ďalší stav, označme si ho napr. q_ε.

Aktuálny stav je q_ε

Po prečítaní prvého symbolu - 0 alebo 1 - nastanú 2 situácie:

1. Po prečítaní 0, t.j. $\delta(q_\varepsilon, 0) = q_0$, pretože 0 predstavuje dekadické číslo 0, ktoré má po delení 3 zvyšok 0
2. Po prečítaní 1, t.j. $\delta(q_\varepsilon, 1) = q_1$, pretože 1 predstavuje dekadické číslo 1, ktoré má po delení 3 zvyšok 1

Analýza

Ak vieme, že sme doteraz prečítali binárny reťazec w predstavujúci číslo n, napr. $w = 1101$ predstavuje $n = 13$, tak potom podľa matematiky platí, že ak za w prečítame ďalšiu binárnu číslicu, tak tento rozvoj predstavuje:

- $w0$ predstavuje binárny rozvoj čísla $2n$, teda napr. $w = 11010$ predstavuje $n = 26$
- $w1$ predstavuje binárny rozvoj čísla $2n + 1$, teda napr. $w = 11011$ predstavuje $n = 27$.

Túto vlastnosť zohľadníme pri konštrukcii DKA.

Aktuálny stav je q_0

Ak aktuálny stav je q_0, doteraz prečítaný binárny vstup predstavuje číslo n deliteľné 3, teda $n = 3k, k \in \mathbb{N}$. Potom:

1. Po prečítaní 0 je aj číslo $2n$ deliteľné 3, teda $\delta(q_0, 0) = q_0$, pretože $2(3k) = 3(2k)$.
2. Po prečítaní 1 má číslo $2n + 1$ po delení 3 zvyšok 1, teda $\delta(q_0, 1) = q_1$, pretože $2(3k) + 1 = 3(2k) + 1$.

Tento stav je zároveň **akceptačný** pretože ak v ňom skončím s čítaním vstupu, zároveň predstavuje práve požadovanú situáciu, že na vstupe bol reťazec predstavujúci číslo deliteľné tromi.

Aktuálny stav je q_1

Ak aktuálny stav je q_1, doteraz prečítaný binárny vstup predstavuje číslo n, ktoré má po delení 3 zvyšok 1, teda $n = 3k + 1$. Potom:

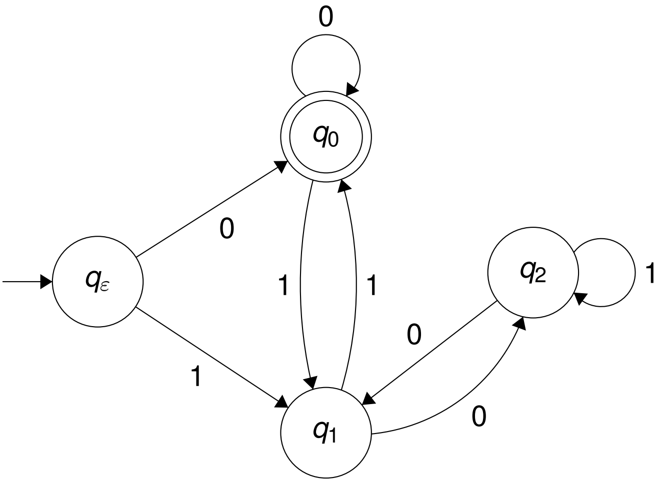
1. Po prečítaní 0 sa zvyšok po delení 3 zmení na 2, teda $\delta(q_1, 0) = q_2$, pretože $2(3k + 1) = 6k + 2 = 3(2k) + 2$.
2. Po prečítaní 1 má číslo $2n + 1$ po delení 3 zvyšok 0, teda $\delta(q_1, 1) = q_0$, pretože $2(3k + 1) + 1 = 6k + 2 + 1 = 6k + 3 = 3(2k + 1)$.

Aktuálny stav je q_2

Ak aktuálny stav je q_2, doteraz prečítaný binárny vstup predstavuje číslo n, ktoré má po delení 3 zvyšok 2, teda $n = 3k + 2$. Potom:

1. Po prečítaní 0 sa zvyšok po delení 3 zmení na 1, teda $\delta(q_2, 0) = q_1$, pretože $2(3k + 2) = 6k + 4 = 6k + 3 + 1 = 3(2k + 1) + 1$.
2. Po prečítaní 1 má číslo $2n + 1$ po delení 3 zvyšok 2, teda $\delta(q_2, 1) = q_2$, pretože $2(3k + 2) + 1 = 6k + 4 + 1 = 6k + 5 = 6k + 3 + 2 = 3(2k + 1) + 2$.

Výsledok



Uvedený automat vieme formálne popísať nasledovne: DKA $M = (Q, \Sigma, \delta, q_\varepsilon, F)$, kde:

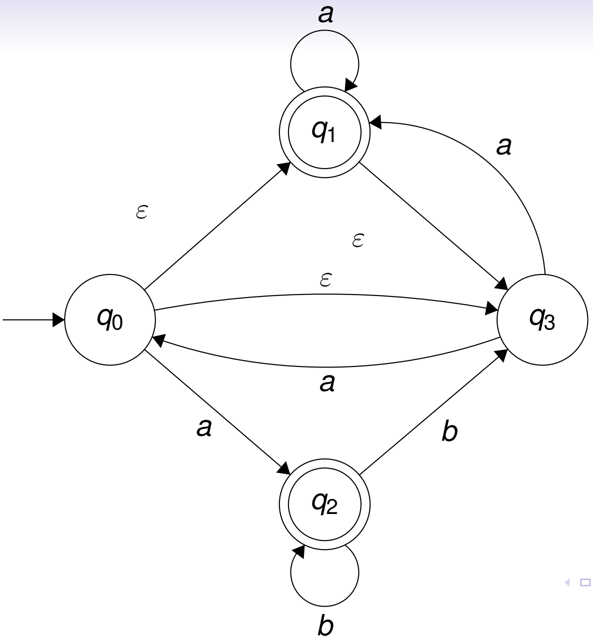
- $Q = \{q_\varepsilon, q_0, q_1, q_2\}$.
- $\Sigma = \{0, 1\}$
- q_ε je počiatočný stav
- $F = \{q_0\}$
- Prechodová funkcia δ je daná:
  1. $\delta(q_\varepsilon, 0) = q_0$
  2. $\delta(q_\varepsilon, 1) = q_1$
  3. $\delta(q_0, 0) = q_0$
  4. $\delta(q_0, 1) = q_1$
  5. $\delta(q_1, 0) = q_2$
  6. $\delta(q_1, 1) = q_0$
  7. $\delta(q_2, 0) = q_1$
  8. $\delta(q_2, 1) = q_2$

NKA - Príklad č. 1

Je daný nedeterministický konečný automat $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, kde $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}, \Sigma = \{a, b\}$, q_0 je počiatočný stav, $F = \{q_1, q_2\}$ a prechodová funkcia:

δ	a	b	ε
q_0	$\{q_2\}$	$\emptyset$	$\{q_1, q_3\}$
q_1	$\{q_1\}$	$\emptyset$	$\{q_3\}$
q_2	$\emptyset$	$\{q_2, q_3\}$	$\emptyset$
q_3	$\{q_0, q_1\}$	$\emptyset$	$\emptyset$

Zistite, či uvedený NKA akceptuje reťazce: ε, a, b, aba.


a
q1
a
ε
ε
ε
q0
q3
a
a
b
q2
b

Výpočet pre ε

Akceptačný výpočet pre ε:

1. $\delta(q_0, \varepsilon) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \in F$, teda M akceptuje ε a platí $\varepsilon \in L(M)$.

Výpočet pre a

Akceptačný výpočet pre a:

1. $\delta(q_0, a) \vdash (q_2, \varepsilon)$. $q_2 \in F$, teda M akceptuje a a platí $a \in L(M)$.

Reťazec a má aj iné akceptačné výpočty, napr.

1. $\delta(q_0, a) \vdash (q_1, a) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \in F$, teda M akceptuje a a platí $a \in L(M)$.
2. $\delta(q_0, a) \vdash (q_1, a) \vdash (q_3, a) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \in F$, teda M akceptuje a a platí $a \in L(M)$.

Pre akceptáciu reťazca stačí však, aby **existoval aspoň 1 akceptačný výpočet.**

Výpočet pre b

Aby, sme zistili, či NKA akceptuje b, hľadáme aspoň 1 akceptačný výpočet...

1. $\delta(q_0, b) \vdash (q_1, b) \vdash (q_3, b)$. Automat nemá možnosť ďalšieho prechodu zo stavu q_3, ani na symbol b, ani bez čítania vstupu cez ε. Preto tento výpočet nie je akceptačný.
2. $\delta(q_0, b) \vdash (q_3, b)$. Tá istá situácia...

Vidíme, že **neexistuje výpočet**, ktorý by dokázal prečítať reťazec b a skončiť v niektorom z akceptačných stavov. Preto uvedený NKA reťazec b **neakceptuje**.

Výpočet pre *aba*

Aby, sme zistili, či NKA akceptuje *aba*, hľadáme aspoň 1 akceptačný výpočet...

1. $\delta(q_0, aba) \vdash (q_2, ba) \vdash (q_3, a) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \in F$ a teda $aba \in L(M)$.
   Alternatívne:
2. $\delta(q_0, aba) \vdash (q_2, ba) \vdash (q_3, a) \vdash (q_0, \varepsilon) \vdash (q_1, \varepsilon)$. $q_1 \in F$ a teda $aba \in L(M)$.

Existujú aj výpočty pre reťazec *aba*, ktoré nie sú akceptačné, viď nižšie. Čo však nič nemení na tom, že reťazec *aba* je akceptovaný, pretože existuje aspoň 1 akceptačný výpočet, viď vyššie.

1. $\delta(q_0, aba) \vdash (q_2, ba) \vdash (q_2, a)$.

Príklady na NKA

Nájdite NKA, ktorý akceptuje jazyk:

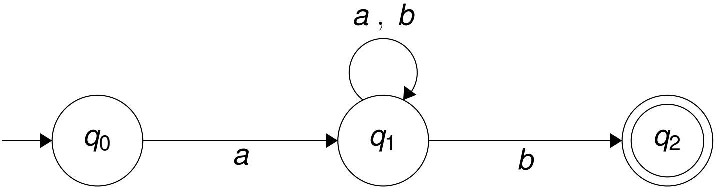
- $L_5 = \{awb \mid w \in \{a,b\}^*\}$ nad abecedou $A = \{a,b\}$.
- $L_6 = \{w \in \{0,1\}^* \mid \text{ tretí symbol } w \text{ od konca je } 0\}$ nad abecedou $A = \{0,1\}$
- $L_7 = \{aw \mid w \in \{a,b\}^* \wedge |w| \equiv 0 \bmod 2\} \cup \{aw \mid w \in \{a,b\}^* \wedge |w| \leq 3\}$ nad abecedou $A = \{a,b\}$

Jazyk L_5

Jazyk L_5 obsahuje reťazce z písmen a, b, ktoré začínajú symbolom a, končia symbolom b a medzi nimi sa nachádza ľubovoľný reťazec zložený z písmen a, b. Keďže pri NKA môžeme využiť to, že môžu byť definované prechody z toho istého stavu na ten istý symbol do rôznych stavov, využijeme to pri konštrukcii.

- Na začiatku predpokladáme, že je na vstupe symbol a, ktorým musí začínať vstupný reťazec, aby sme ho mohli akceptovať. Tým sa presunieme zo stavu q_0 do nejakého ďalšieho stavu, napr. q_1, $\delta(q_0, a) = \{q_1\}$.
- V stave q_1 sú 2 možnosti:
  1. Predpokladáme, že aktuálne čítaný symbol je súčasťou podreťazca w. V takom prípade zostávame v stave q_1. Týmto symbolom môže byť alebo a, alebo b.
  2. Ak je aktuálne čítaným symbolom b, môže ísť o posledný symbol reťazca - v takom prípade prejdeme do ďalšieho stavu q_2, ktorý je akceptačný, pretože sme prečítali reťazec, ktorý začínal a (vďaka tomu sme prešli do q_1) a končil b.
- Preto $\delta(q_1, a) = \{q_1\}, \delta(q_1, b) = \{q_1, q_2\}$.
- Zo stavu q_2 nevychádzajú žiadne prechody, lebo predpokladáme, že sme doň prešli posledným symbolom vstupu.

Dostávame teda NKA:



v ktorom $Q = \{q_0, q_1, q_2\}, \Sigma = \{a, b\}$, q_0 je počiatočný stav a $F = \{q_2\}$.
Prechodová funkcia je daná obrázkom.

Je zrejmé, že $L(M) = L$, pretože:

- Ak automat akceptuje nejaký reťazec x, tak musí mať tú vlastnosť, že začína a a končí b. V opačnom prípade by neexistoval výpočet $(q_0, w) \vdash^* (q_2, \varepsilon)$. Teda $L(M) \subseteq L$.
- Ak vezmeme nejaký reťazec $x = awb$ z jazyka L a dáme ho na vstup automatu, tak existuje taký výpočet, že $(q_0, awb) \vdash (q_1, wb) \vdash^{|w|} (q_1, b) \vdash (q_2, \varepsilon)$. Teda určite aj $L \subseteq L(M)$.
- A teda $L = L(M)$

Jazyk L_6

Jazyk L_6 obsahuje reťazce zo symbolov $0, 1$, ktorých tretí symbol od konca je 0.
Teda napríklad:

1. $000, 001, 010, 011$
2. $0000, 0001, 0010, 0011, 1000, 1001, 1010, 1011$
3. ...

Teda ide o jazyk, ktorý sa dá popísať aj v štýle:
$L_6 = \{w0\{00, 01, 10, 11\} \mid w \in \{0, 1\}^*\}$, teda ako zreťazenie:

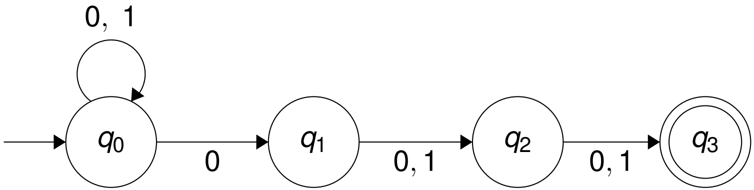
1. ľubovoľného reťazca z núl a jednotiek w
2. nuly
3. ľubovoľného reťazca z množiny $\{00, 01, 10, 11\}$

NKA zostrojíme teda podľa štruktúry reťazcov z jazyka:

- V počiatočnom stave q_0 máme 2 možnosti:
  1. Predpokladáme, že aktuálne čítaný symbol je súčasťou podreťazca w. V takom prípade zostávame v stave q_0. Týmto symbolom môže byť alebo 0, alebo 1.
  2. Ak je aktuálne čítaným symbolom 0, môže ísť práve o tú nulu, ktorá je tretím symbolom od konca - v takom prípade prejdeme do ďalšieho stavu q_1.
- Teda: $\delta(q_0, 0) = \{q_0, q_1\}, \delta(q_0, 1) = \{q_0\}$.
- Ak sa nachádzame v stave q_1, tak predpokladáme, že sme práve prečítali tú nulu, ktorá je tretia od konca. Teraz už teda očakávame na vstupe ľubovoľnú postupnosť 2 symbolov z núl a jednotiek - preto prejdeme čítaním 0 alebo 1 do ďalšieho stavu q_2, $\delta(q_1, 0) = \delta(q_1, 1) = \{q_2\}$.

- Ak sme v stave q_2, tak očakávame, že na vstupe je už len 1 symbol, 0 alebo 1. Preto jeho prečítaním prejdeme do akceptačného stavu q_3, v ktorom už nebudú definované ďalšie prechody.
- $\delta(q_2, 0) = \delta(q_2, 1) = \{q_3\}$.

Výsledok



v ktorom $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}, \Sigma = \{a, b\}$, q_0 je počiatočný stav a $F = \{q_3\}$.
Prechodová funkcia je daná obrázkom.

Jazyk L_7

Jazyk L_7 obsahuje reťazce z písmen a, b ktoré:

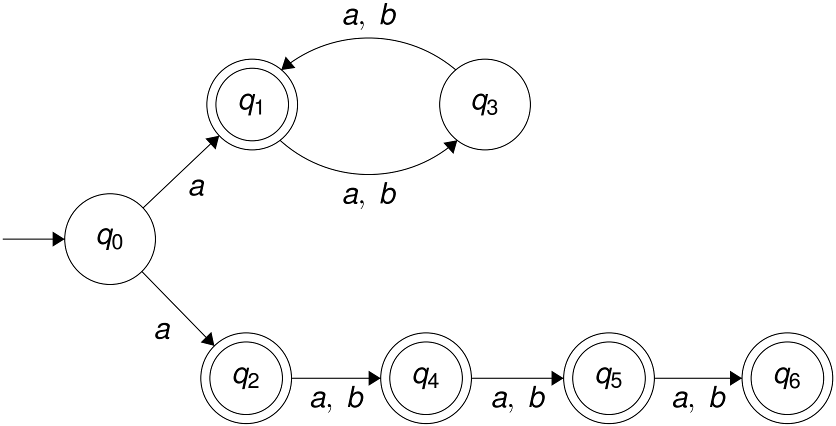
1. alebo začínajú a-čkom, za ktorým je reťazec w párnej dĺžky, napr.:
   a, aaa, aab, aba, abb, $aaaaa$, $aaaab$, $aaaba$, $aaabb$, $aabaa$, ..., $abbaabbaa$, ...
2. alebo začínajú a-čkom, za ktorým je reťazec w dĺžky maximálne 3, napr.:
   a, aa, ab, aaa, aab, aba, abb, $aaaa$, $aaab$, ..., $abbb$.

Počas svojej činnosti teda NKA bude sledovať, či vstupný reťazec spĺňa niektorú z 2 uvedených vlastností.

Keďže jazyk sa dá popísať ako zjednotenie dvoch iných jazykov, môžeme to využiť pri návrhu NKA a navrhneme ho tak, že sa nedeterministicky rozhodne, či reťazec spĺňa prvú alebo druhú vlastnosť. Keďže obe "vlastnosti" začínajú tým, že prvý symbol reťazca je a, tak zo stavu q_0 bude definovaný prechod do 2 rôznych stavov q_1 a q_2:

- $\delta(q_0, a) = \{q_1, q_2\}$
- Zo stavu q_1 bude NKA zostrojený tak, že očakáva, že na vstupe je reťazec patriaci do množiny $\{aw \mid w \in \{a, b\}^* \wedge |w| \equiv 0 \bmod 2\}$
- Zo stavu q_2 bude NKA zostrojený tak, že očakáva, že na vstupe je reťazec patriaci do množiny $\{aw \mid w \in \{a, b\}^* \wedge |w| \leq 3\}$

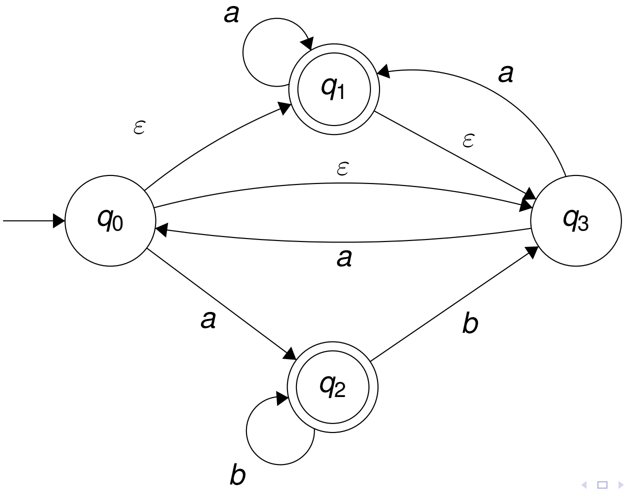
Výsledok



V tomto NKA: $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6\}$, $\Sigma = \{a, b\}$, q_0 je počiatočný stav, $F = \{q_1, q_2, q_4, q_5, q_6\}$.

Konverzia NKA -> DKA č. 1

Zostrojte DKA ekvivalentný k zadanému NKA:



Počiatočný stav DKA bude $CLOSURE_{\varepsilon}(q_0)$. Výpočet:

1. $CLOSURE_{\varepsilon}(q_0) = \{q_0,$
2. $CLOSURE_{\varepsilon}(q_0) = \{q_0, q_1, q_3$
3. $CLOSURE_{\varepsilon}(q_0) = \{q_0, q_1, q_3\}$

Teda v DKA bude počiatočný stav pomenovaný: $\{q_0, q_1, q_3\}$. Preto je potrebné vyšetriť prechody z tohto stavu na symboly a a b:

δ	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$		

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\{q_0, q_1, q_3\}$, teda: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_3\})$ je potrebné najprv vyšetriť, do akých všetkých stavov vie NKA prejsť z q_0, q_1, q_3, zjednotiť tieto stavy a následne na ne aplikovať $CLOSURE_\varepsilon$. Najprv pre symbol a, $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_3\}, a)$:

1. V NKA: $\delta(q_0, a) = \{q_2\}$
2. V NKA: $\delta(q_1, a) = \{q_1\}$
3. V NKA: $\delta(q_3, a) = \{q_0, q_1\}$
4. Teda ich zjednotením:$\{q_0, q_1, q_2\}$

Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\{q_0, q_1, q_2\}) = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_3\}, a) = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	

Pre symbol b, teda $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_3\}, b)$

1. V NKA: $\delta(q_0, b) = \emptyset$
2. V NKA: $\delta(q_1, b) = \emptyset$
3. V NKA: $\delta(q_3, b) = \emptyset$
4. Teda ich zjednotením:$\emptyset$

Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\emptyset) = \emptyset$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_3\}, b) = \emptyset$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$

Zistili sme 2 nové stavy v DKA: $\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ a $\emptyset$. Preto teraz musíme vyšetriť aj prechody z týchto stavov, aby sme mohli pokračovať vo vypĺňaní prechodovej tabuľky:

δ	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$		
$\emptyset$		

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ na symbol a, teda: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, a)$:

1. V NKA: $\delta(q_0, a) = \{q_2\}$
2. V NKA: $\delta(q_1, a) = \{q_1\}$
3. V NKA: $\delta(q_2, a) = \emptyset$
4. V NKA: $\delta(q_3, a) = \{q_0, q_1\}$
5. Teda ich zjednotením:$\{q_0, q_1, q_2\}$

Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\{q_0, q_1, q_2\}) = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, a) = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	
$\emptyset$		

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ na symbol b, teda: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, b)$:

1. V NKA: $\delta(q_0, b) = \emptyset$
2. V NKA: $\delta(q_1, b) = \emptyset$
3. V NKA: $\delta(q_2, b) = \{q_2, q_3\}$
4. V NKA: $\delta(q_3, b) = \emptyset$
5. Teda ich zjednotením:$\{q_2, q_3\}$

Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\{q_2, q_3\}) = \{q_2, q_3\}$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, b) = \{q_2, q_3\}$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$		

Zistili sme nový stav v DKA: $\{q_2, q_3\}$. Pridáme do tabuľky:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$		
$\{q_2, q_3\}$		

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\emptyset$ na symbol *a*, teda: $\acute{\delta}(\emptyset, a)$:

1. Keďže $\emptyset$ neobsahuje žiadne stavy, tak nemáme čo vyšetrovať z hľadiska činnosti NKA

Následne ešte zistíme $CLOSURE_{\varepsilon}(\emptyset) = \emptyset$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\emptyset, a) = \emptyset$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\emptyset$ na symbol b, teda: $\acute{\delta}(\emptyset, b)$:

1. Keďže $\emptyset$ neobsahuje žiadne stavy, tak nemáme čo vyšetrovať z hľadiska činnosti NKA

Následne ešte zistíme $CLOSURE_{\varepsilon}(\emptyset) = \emptyset$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\emptyset, b) = \emptyset$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

V tomto momente sme nedostali nový stav, čiže prechodová tabuľka naďalej obsahuje 4 stavy, momentálne vieme, že prechody sú nasledovné:

δ	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{q_2, q_3\}$		

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\{q_2, q_3\}$ na symbol a, teda: $\acute{\delta}(\{q_2, q_3\}, a)$:

1. V NKA: $\delta(q_2, a) = \emptyset$
2. V NKA: $\delta(q_3, a) = \{q_0, q_1\}$
3. Teda ich zjednotením:$\{q_0, q_1\}$

Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\{q_0, q_1\}) = \{q_0, q_1, q_3\}$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_2, q_3\}, a) = \{q_0, q_1, q_3\}$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_3\}$	

Na vyšetrenie toho, kam pôjde DKA zo stavu $\{q_2, q_3\}$ na symbol b, teda: $\acute{\delta}(\{q_2, q_3\}, b)$:

1. V NKA: $\delta(q_2, b) = \{q_2, q_3\}$
2. V NKA: $\delta(q_3, b) = \emptyset$
3. Teda ich zjednotením:$\{q_2, q_3\}$

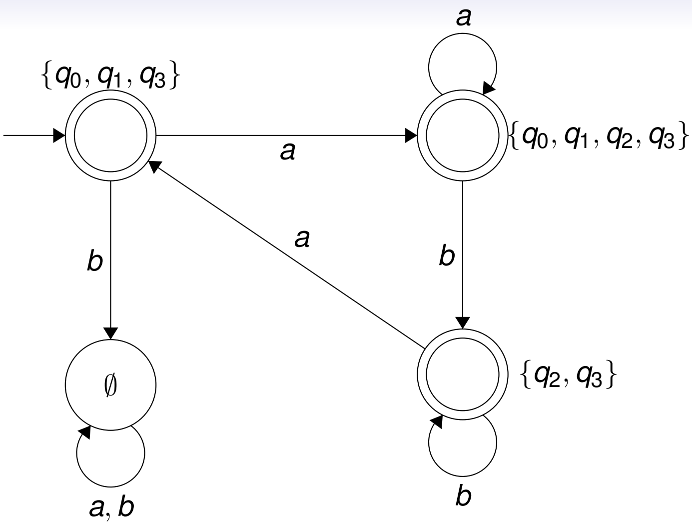
Následne ešte zistíme $CLOSURE_\varepsilon(\{q_2, q_3\}) = \{q_2, q_3\}$. Preto v DKA: $\acute{\delta}(\{q_2, q_3\}, b) = \{q_2, q_3\}$

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$

V tomto momente sme nedostali nový stav, čiže prechodová tabuľka naďalej obsahuje 4 stavy. Navyše nám už nezostali žiadne nevyšetrené stavy. Preto DKA ekvivalentný zadanému NKA má nasledovnú prechodovú tabuľku:

δ	a	b
$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_3\}$	$\{q_2, q_3\}$

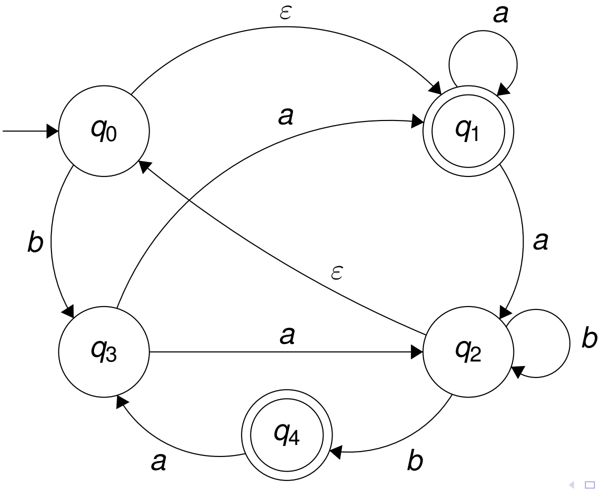
Počiatočný stav je $\{q_0, q_1, q_3\}$, pretože je práve rovný $CLOSURE_\varepsilon(q_0) = \{q_0, q_1, q_3\}$. Akceptačné stavy sú tie, ktoré obsahujú akceptačné stavy pôvodného NKA, t.j. alebo q_1, alebo q_2, čiže stavy DKA: $\{q_0, q_1, q_3\}, \{q_0, q_1, q_2, q_3\}, \{q_2, q_3\}$.



$\{q_0, q_1, q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$
$\{q_2, q_3\}$
$\emptyset$
a
a
a
b
b
b
a, b

Konverzia NKA->DKA č. 2

Transformujte daný NKA na DKA.



Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_0\})$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_1, q_2\})$	

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$CLOSURE_\varepsilon(\{q_3\})$

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$		
$\{q_3\}$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_1, q_2\})$	
$\{q_3\}$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_2, q_3, q_4\})$
$\{q_3\}$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_1, q_2\})$	

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$CLOSURE_\varepsilon(\emptyset)$

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$CLOSURE_\varepsilon(\{q_1, q_2, q_3\})$	

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_2, q_3, q_4\})$

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$CLOSURE_\varepsilon(\{q_1, q_2\})$	

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\})$	$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_2, q_3, q_4\})$

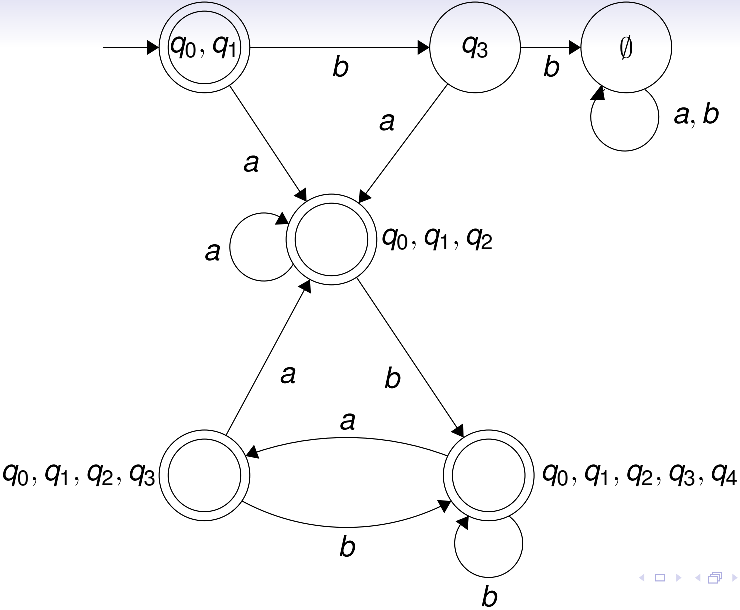
Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\})$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\emptyset$		

Prechodová funkcia DKA $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_3\}$
$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\}$	$\emptyset$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$	$\{q_0, q_1, q_2\})$	$\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

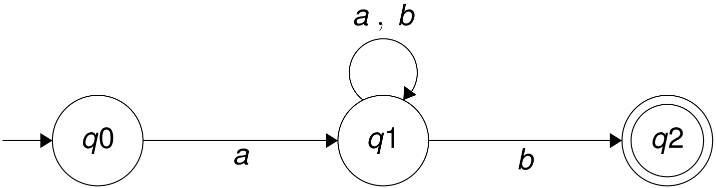
Počiatočný stav: $\{q_0, q_1\}$.
Akceptačné stavy: $\{q_0, q_1\}, \{q_0, q_1, q_2\}, \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}, \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$.



q_0, q_1
q_3
$\emptyset$
a, b
q_0, q_1, q_2
q_0, q_1, q_2, q_3
q_0, q_1, q_2, q_3, q_4
a
b

Teraz uvedieme DKA ekvivalentné pre NKA jazykov L_5, L_6, L_7 - sú tu len správne výsledky, bez komentára:

Konverzia NKA->DKA pre L_5



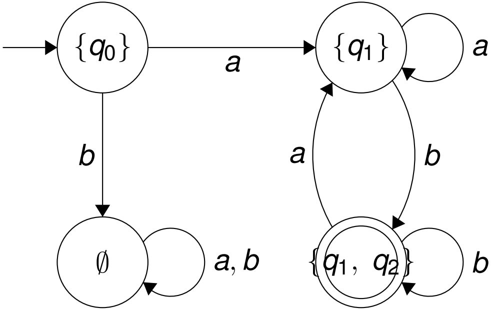
Zostrojme z neho DKA.

Prechodová funkcia $\acute{\delta}$:

$\acute{\delta}$	a	b
$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_0\}) = \{q_0\}$	$\{q_1\}$	$\emptyset$
$\{q_1\}$	$\{q_1\}$	$\{q_1, q_2\}$
$\{q_1, q_2\}$	$\{q_1\}$	$\{q_1, q_2\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

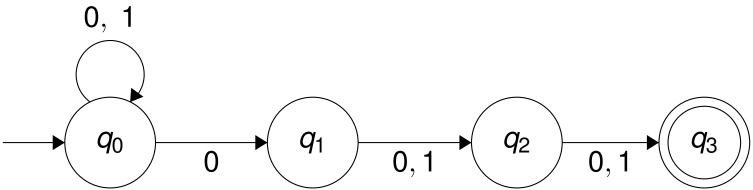
Prechodová funkcia $\acute{\delta}$, počiatočný stav a akceptačné stavy:

$\acute{\delta}$	a	b
$CLOSURE_{\varepsilon}(\{q_0\}) = \{q_0\}$	$\{q_1\}$	$\emptyset$
$\{q_1\}$	$\{q_1\}$	$\{q_1, q_2\}$
$\{q_1, q_2\}$	$\{q_1\}$	$\{q_1, q_2\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

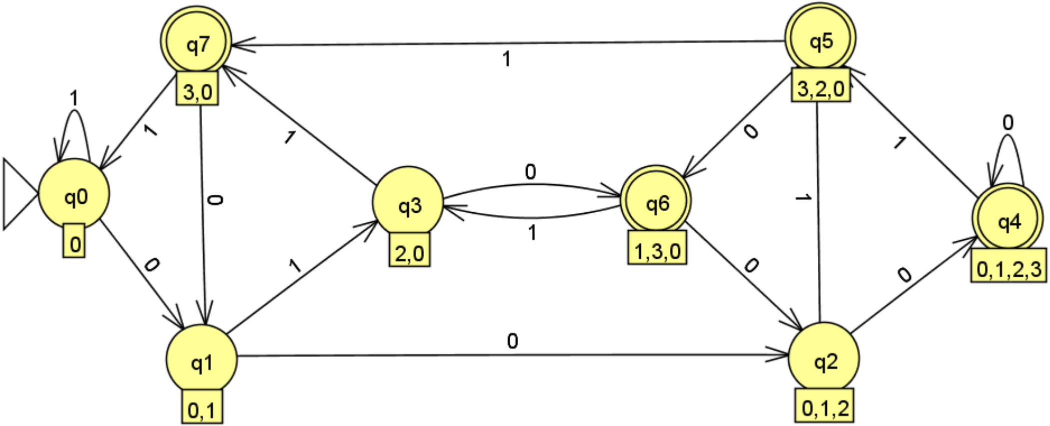

{q0}
a
{q1}
a
b
a
b
∅
a, b
{q1, q2}
b

Konverzia NKA -> DKA pre jazyk L_6

NKA:

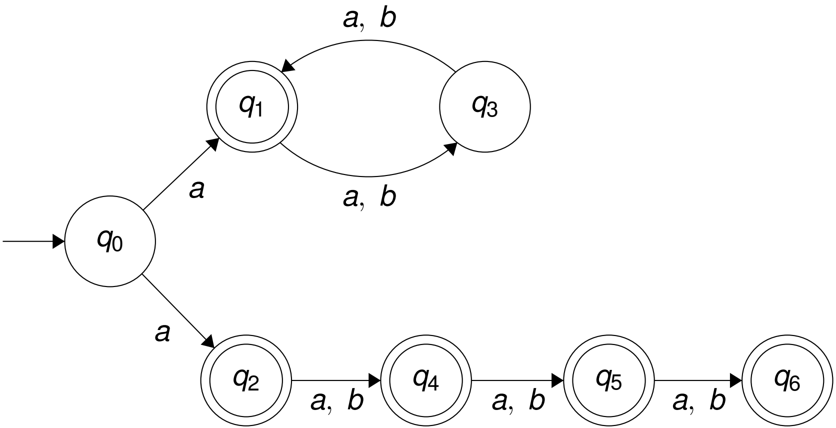


DKA (na obrázku to nie je vidieť, ale zo stavu q_2 do stavu q_5 ide hrana označená 1.



Konverzia NKA -> DKA pre jazyk L_7

NKA:



Stav s label-om *Trap State* predstavuje stav $\emptyset$