

Syntaks og semantik

Lektion 2

8 februar 2007

Forord

- 1 Administrivia
- 2 Ord
- 3 Sprog
- 4 De regulære operationer
- 5 Regulære udtryk

- Jeg har skrevet en **manual** til kurset; se link på hjemmesiden. Læs den.
- Der var ikke nok *Sipser*-bøger til jer alle. Kopier af kapitel 1 fås ved henvendelse til **Lene**.
- **Syntaksopgaven**

- **alfabet**: en endelig mængde, normalt betegnet Σ
- **bogstav / tegn / symbol**: et element i Σ
- **ord / streng**: en endelig følge (a_1, a_2, \dots, a_k) af bogstaver.
Normalt skrevet uden parenteser og komma: $a_1 a_2 \dots a_k$
- ε : det tomme ord (med 0 bogstaver)
- at **sammensætte** ord: $abe \circ kat = abekat$
- ε er **identiteten** for \circ : $w \circ \varepsilon = \varepsilon \circ w = w$ for alle ord w

- **Sprog (over Σ):** en mængde af ord med bogstaver fra Σ
 - \emptyset : det tomme sprog
 - Σ^* : sproget bestående af *alle* ord over Σ
- $\Rightarrow L$ er et sprog over Σ hvis og kun hvis $L \subseteq \Sigma^*$ **quiz (2e)!**

Bemærk: Det kan godt være vi snakker om “ord” og “sprog” her, men vi **tillægger dem ikke nogen betydning!** Vi er (lige nu) *kun* interesseret i **formen**, ikke i betydningen.

Givet sprog $L_1, L_2 \subseteq \Sigma^*$, da kan vi danne sprogene

- $L_1 \cup L_2 = \{w \mid w \in L_1 \text{ eller } w \in L_2\}$
- $L_1 \circ L_2 = \{w_1 \circ w_2 \mid w_1 \in L_1, w_2 \in L_2\}$
- $L_1^* = \{w_1 \circ w_2 \circ \dots \circ w_k \mid \text{alle } w_i \in L_1\}$

quiz (2c)!

Disse 3 operationer (forening, sammensætning og stjerne) kaldes de **regulære operationer** på sprog.

(Der er andre operationer på sprog, ja.)

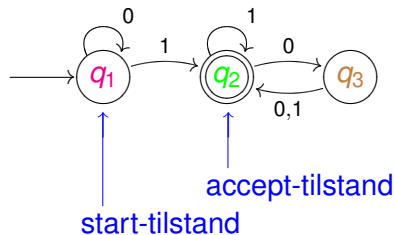
quiz (2d)!

- formål: At beskrive sprog (som generelt er *uendelige* mængder) ved *endelige* udtryk.
- a (for $a \in \Sigma$), ε , \emptyset
- $R_1 \cup R_2$, $R_1 \circ R_2$, R_1^* , for R_1 , R_2 regulære udtryk
- en **rekursiv** definition
- forkortelser: $\Sigma = a_1 \cup a_2 \cup \dots \cup a_n$ (for $\Sigma = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$),
 $R^+ = R \circ R^*$
- $\llbracket a \rrbracket = \{a\}$, $\llbracket \varepsilon \rrbracket = \{\varepsilon\}$, $\llbracket \emptyset \rrbracket = \emptyset$
- $\llbracket R_1 \cup R_2 \rrbracket = \llbracket R_1 \rrbracket \cup \llbracket R_2 \rrbracket$, $\llbracket R_1 \circ R_2 \rrbracket = \llbracket R_1 \rrbracket \circ \llbracket R_2 \rrbracket$,
 $\llbracket R_1^* \rrbracket = \llbracket R_1 \rrbracket^*$
- ikke alle sprog kan beskrives ved regulære udtryk! (se lektion 4 ...)

Endelige automater

- 6 Endelige automater
- 7 Eksempler
- 8 Sproget som genkendes af en endelig automat
- 9 At designe endelige automater
- 10 Regulære sprog

- at beskrive sprog ved maskiner der kan læse dem
- den mest simple maskine: **endelig automat**
- **tilstande**, og **transitioner** der læser bogstaver:



- eksempel: læs ordet "1101":

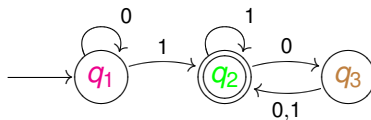
$q_1 \xrightarrow{1} q_2 \xrightarrow{1} q_2 \xrightarrow{0} q_3 \xrightarrow{1} q_2 \Rightarrow \text{accept}$

- eksempel: læs ordet "0110":

$q_1 \xrightarrow{0} q_1 \xrightarrow{1} q_2 \xrightarrow{1} q_2 \xrightarrow{0} q_3 \Rightarrow \text{afvis}$

Definition 1.5: En **endelig automat** er en 5-tupel $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, hvor delene er

- 1 Q : en endelig mængde af **tilstande**
- 2 Σ : en endelig mængde af **bogstaver** (input-alfabetet)
- 3 $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$: **transitions-funktionen**
- 4 $q_0 \in Q$: **starttilstanden**
- 5 $F \subseteq Q$: mængden af **accepttilstande**



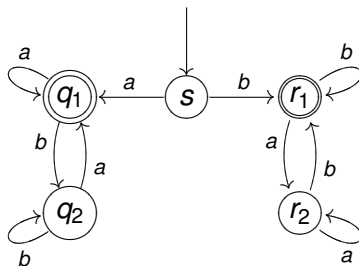
Her har vi:

- 1 tilstande $Q = \{q_1, q_2, q_3\}$
- 2 inputalfabetet $\Sigma = \{0, 1\}$
- 3 transitionsfunktionen $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ givet ved

	0	1
q_1	q_1	q_2
q_2	q_3	q_2
q_3	q_2	q_2

- 4 starttilstanden $q_0 = q_1$
- 5 accepttilstandene $F = \{q_2\}$

Eksempel 1.11:



$$Q = \{s, q_1, q_2, r_1, r_2\}$$

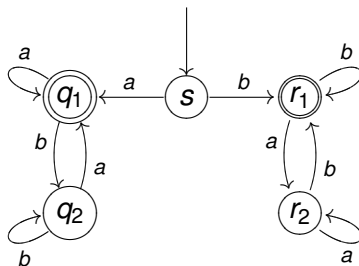
$$\Sigma = \{a, b\}$$

$$q_0 = s$$

$$F = \{q_1, r_1\}$$

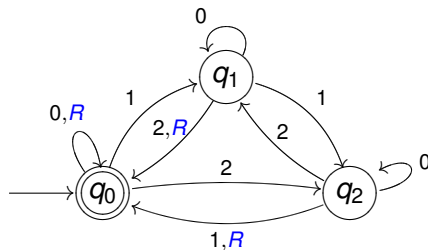
$\delta :$	a	b
s	q_1	r_1
q_1	q_1	q_2
q_2	q_1	q_2
r_1	r_2	r_1
r_2	r_2	r_1

Eksempel 1.11:



Accepterer alle ord der starter og slutter med samme bogstav.

Eksempel 1.13:



Accepterer alle ord hvor summen af cifrene efter det sidste “*R*” er deleligt med 3 !

Eksempel 1.15: En endelig automat over alfabetet $\{0, 1, 2, R\}$ der accepterer alle ord hvor summen af cifrene efter det sidste " R " er deleligt med et givet tal i :

$$Q = \{q_0, q_1, \dots, q_{i-1}\}$$

$$\Sigma = \{0, 1, 2, R\}$$

$$q_0 = q_0$$

$$F = \{q_0\}$$

$$\delta(q_j, 0) = q_j$$

$$\delta(q_j, 1) = q_{j+1 \bmod i}$$

$$\delta(q_j, 2) = q_{j+2 \bmod i}$$

$$\delta(q_j, R) = q_0$$

– kan umiddelbart generaliseres til

$$\Sigma = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, R\} \quad (\text{Hvordan?})$$

Definition: Lad $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ være en endelig automat, og lad $w = w_1 w_2 \dots w_n \in \Sigma^*$. Da siges M at **acceptere** w hvis der findes en følge (r_0, r_1, \dots, r_n) af tilstande $r_i \in Q$ således at

- 1 $r_0 = q_0$,
- 2 $r_{i+1} = \delta(r_i, w_{i+1})$ for alle $i = 0, 1, \dots, n-1$, og
- 3 $r_n \in F$.

Sproget som **genkendes** af M er

$$\llbracket M \rrbracket = L(M) = \{w \mid M \text{ accepterer } w\}$$

Eksempel: Sætning: Sproget som genkendes af automaten M fra eksempel 1.15 er

$L = \{w \mid \text{summen af cifrene efter sidste "R" er deleligt med } i\}$

Bevis: Lad $w \in \Sigma^*$, og skriv w som $w = \Sigma^* R w_1 w_2 \dots w_k$, hvor $w_1, w_2, \dots, w_k \in \{0, 1, 2\}$. Dvs. $w_1 w_2 \dots w_k$ er den del af w der står efter det sidste "R."

Efter at have læst det sidste "R," er M i tilstand q_0 . Lad nu r_1, r_2, \dots, r_k betegne de tilstande som M er i efter at have læst w_1, w_2, \dots, w_k . Da er

$$r_1 = \delta(q_0, w_1) = q_{w_1 \bmod i}$$

$$r_2 = \delta(r_1, w_2) = \delta(q_{w_1 \bmod i}, w_2) = q_{w_1 + w_2 \bmod i}$$

$$r_3 = \delta(r_2, w_3) = \delta(q_{w_1 + w_2 \bmod i}, w_3) = q_{w_1 + w_2 + w_3 \bmod i}$$

$$\vdots$$

$$r_k = q_{w_1 + w_2 + \dots + w_k \bmod i}$$

Bemærk nu at w accepteres af M hvis og kun hvis $r_k = q_0$.
Dvs. w accepteres af M hvis og kun hvis

$$w_1 + w_2 + \dots + w_k \bmod i = 0. \quad \square$$

Clue: tilstandene repræsenterer *information*!

Eksempel 1.21: En endelig automat der genkender sproget $\Sigma^*001\Sigma^*$, for $\Sigma = \{0, 1\}$.

- starttilstand
- tilstand “jeg har lige set ‘0’ ”
- tilstand “jeg har lige set ‘00’ ”
- tilstand “jeg har lige set ‘001’ ” (accept!)

Clue: tilstandene repræsenterer *information*!

Eksempel 1.21: En endelig automat der genkender sproget $\Sigma^*001\Sigma^*$, for $\Sigma = \{0, 1\}$.

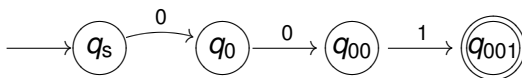
- starttilstand q_s
- tilstand "jeg har lige set '0' " q_0
- tilstand "jeg har lige set '00' " q_{00}
- tilstand "jeg har lige set '001' " (accept!) q_{001}



Clue: tilstandene repræsenterer *information*!

Eksempel 1.21: En endelig automat der genkender sproget $\Sigma^*001\Sigma^*$, for $\Sigma = \{0, 1\}$.

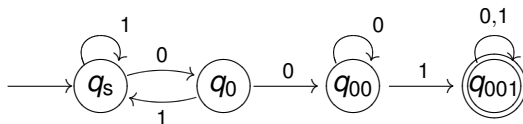
- starttilstand q_s
- tilstand "jeg har lige set '0' " q_0
- tilstand "jeg har lige set '00' " q_{00}
- tilstand "jeg har lige set '001' " (accept!) q_{001}



Clue: tilstandene repræsenterer *information*!

Eksempel 1.21: En endelig automat der genkender sproget $\Sigma^*001\Sigma^*$, for $\Sigma = \{0, 1\}$.

- starttilstand q_s
- tilstand "jeg har lige set '0' " q_0
- tilstand "jeg har lige set '00' " q_{00}
- tilstand "jeg har lige set '001' " (accept!) q_{001}



Definition 1.16: Et sprog siges at være **regulært** hvis der findes en endelig automat der genkender det.

Eller: Givet et alfabet Σ og $L \subseteq \Sigma^*$, da kaldes L et **regulært sprog** hvis der findes en endelig automat M over Σ således at $\llbracket M \rrbracket = L$.

Vigtig sætning 1.54: Et sprog er regulært hvis og kun hvis det kan beskrives ved et **regulært udtryk**.

(Beviset ser vi på næste gang.)

Sætning 1.25 / 1.45 / 1.47 / 1.49:

Klassen af regulære sprog er **lukket** under foreningsmængde \cup , sammensætning \circ og stjerne * .

Dvs. hvis A og B er regulære sprog, da er også

- $A \cup B$,
- $A \circ B$ og
- A^*

regulære sprog.

Beviserne skal vi se i dag og næste gang.

Sætning 1.25: Lad A_1 og A_2 være regulære sprog over et fælles alfabet Σ . Da er også $A_1 \cup A_2$ et regulært sprog.

Bevis: Lad $M_1 = (Q_1, \Sigma, \delta_1, q_1, F_1)$, $M_2 = (Q_2, \Sigma, \delta_2, q_2, F_2)$ være endelige automater med $\llbracket M_1 \rrbracket = A_1$ og $\llbracket M_2 \rrbracket = A_2$. Konstruér en ny endelig automat $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ved

- $Q = Q_1 \times Q_2$,
- $q_0 = (q_1, q_2)$,
- $F = \{(r_1, r_2) \in Q \mid r_1 \in F_1 \text{ eller } r_2 \in F_2\}$,
- og med $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ defineret som

$$\delta((r_1, r_2), a) = (\delta(r_1, a), \delta(r_2, a))$$

For at vise at $\llbracket M \rrbracket = A_1 \cup A_2$, skal vi vise at

- 1 ethvert $w \in \llbracket M_1 \rrbracket$ også er i $\llbracket M \rrbracket$,
- 2 ethvert $w \in \llbracket M_2 \rrbracket$ også er i $\llbracket M \rrbracket$, og at
- 3 ethvert $w \in \llbracket M \rrbracket$ også er i $\llbracket M_1 \rrbracket$ eller i $\llbracket M_2 \rrbracket$.