

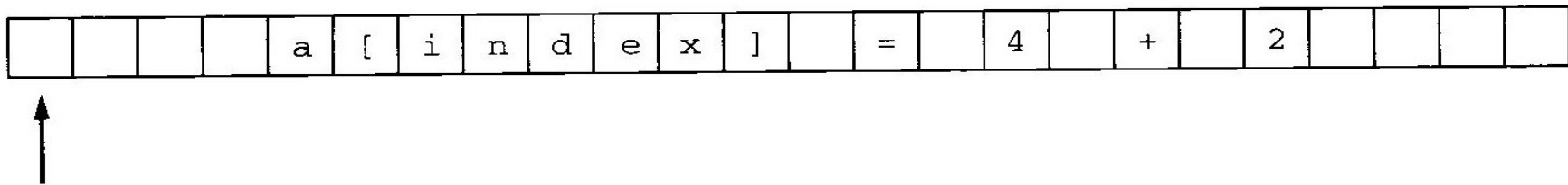
# Scanning - I      Kap. 2

- Hovedmål
  - Gå ut fra en beskrivelse av de enkelte tokens, og hvordan de skal deles opp i klasser
  - Lage et program (funksjon, prosedyre, metode) som leverer ett og ett token, med all nødvendig informasjon
  - Tokenet skal angis som en hovedklassifikasjon, med tilhørende attributter
- Vanlige regler
  - Hvert token skal gjøres så langt som mulig innenfor beskrivelsen
  - Dersom et token kan passe med flere beskrivelser må det finnes regler om valg:
    - Typisk: Kan det være både **nøkkelord** og **navn**, så skal det ansees som nøkkelord
  - **Blank**, **linjeskift**, **TAB** og kommentar angir skille mellom tokens, men skal forøvrig fjernes ("white space")

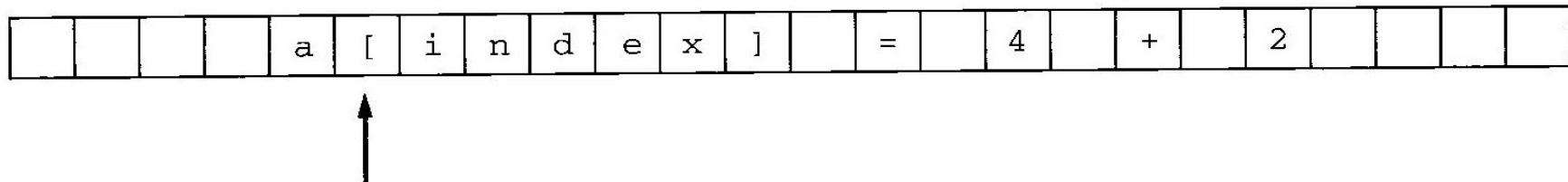
# Hva scanneren gjør

`a[index] = 4 + 2`

Vanlig invariant: Pilen peker på første tegn etter det siste token som ble lest.  
Ved + skal da denne pekeren flyttes!



Tegnet pilen peker på ligger gjerne i en gitt variabel 'curChar' e-lign.



# Fortran

## Spesielle regler for oppdeling i tokens

```
I F ( X 2 . EQ. 0 ) T H E N
```

```
IF (X2.EQ.0) THEN
```

```
IF (IF.EQ.0) THEN THEN=1.0
```

```
DO 99 I=1,10
```

```
DO 99 I=1.10
```

```
DO 99 I=1,10  
-  
-  
-  
99 CONTINUE
```

# Klassifisering

- Hva som er en god klassifisering blir ikke klart før senere i kompilatoren
- En mulig regel: Det som skal behandles likt under syntaktisk analyse skal i samme klasse.
- Selve tokenet angir klassen
  - hvilket leksem det er angis ved attributter
- Det enkleste er å angi selve teksten (f.eks. string value) som attributt
- Men ofte vil scanneren også:
  - Sette navn i tabell, og gi med indeksen som attributt
  - Sette tekst-konstanter i tabell, og angi indeksen som attributt
  - beregne tallkonstanter, og angi verdien som attributt
  - ...

# En mulig klassifisering

- Navn (identifikator): `abc25`
- Heltallskonstant: `1234`
- Reell konstant: `3.14E3`
- Boolsk konstant: `true false`
- Tekst-konstant: `"dette er en tekstkonstant"`
- Aritmetisk operator: `+ - * /`
- Relasjons-operator: `< <= >= > = <>`
- Logisk operator: `and or not`
- Alle andre tokens i hver sin gruppe, f.eks.:
  - `nøkkelord ( ) [ ] { } := , ; .`
- MEN: Langt fra klart at denne blir den beste .....

# C-typer som kan representere et token

```
typedef struct
{ TokenType tokenval;
  char * stringval;
  int numval;
} TokenRecord;
```

Hovedklassifikasjonen

Selve teksten, eller verdien

Hvis man vil lagre bare ett attributt:

```
typedef struct
{ TokenType tokenval;
  union
  { char * stringval;
    int numval;
  } attribute;
} TokenRecord;
```

# En scanner er ikke stor og vanskelig

- De forskjellige token-klassene kan lett beskrives i prosa-tekst
- Ut fra det kan en scanner skrives rett fram, uten særlig teori
- Kan typisk ta noen hundre linjer, der det samme prinsippet stadig går igjen
- Men, man kan ønske seg:
  - Å angi token-klassene i en passelig formalisme
  - Ut fra denne å automatisk få laget et scanner-program
- Det er dette kapittel 2 handler mest om

# Framgangsmåte

- for automatisk å lage en scanner
- Beskriv de forskjellige token-klassene som regulære uttrykk
  - Eller litt mer fleksibelt, som regulære definisjoner
- Omarbeid dette til en NFA (Nondeterministic Finite Automaton)
  - Er veldig rett fram
- Omarbeid dette til en DFA (Deterministic Finite Automaton)
  - Dette kan gjøres med en kjent, grei algoritme
- En DFA kan uten videre gjøres om til et program
- Det er hele veien et kompliserende element at vi:
  - ikke bare skal finne ett token, men en sekvens av token
  - hvert token skal være så langt som mulig
- Vi skal se på dette i følgende rekkefølge:
  - (1) Regulære uttrykk      (2) DFAer      (3) NFAer



# Definisjon av regulære uttrykk

- Og det språket de definerer = mengden av strenger

A **regular expression** is one of the following:

1. A **basic** regular expression, consisting of a single character **a**, where  $a$  is from an alphabet  $\Sigma$  of legal characters; the metacharacter  $\epsilon$ ; or the metacharacter  $\phi$ . In the first case,  $L(\mathbf{a}) = \{a\}$ ; in the second,  $L(\epsilon) = \{\epsilon\}$ ; in the third,  $L(\phi) = \{\}$ .
2. An expression of the form  **$r|s$** , where  $r$  and  $s$  are regular expressions. In this case,  $L(\mathbf{r|s}) = L(r) \cup L(s)$ .
3. An expression of the form  **$rs$** , where  $r$  and  $s$  are regular expressions. In this case,  $L(rs) = L(r)L(s)$ .
4. An expression of the form  **$r^*$** , where  $r$  is a regular expression. In this case,  $L(r^*) = L(r)^*$ .
5. An expression of the form  **$(r)$** , where  $r$  is a regular expression. In this case,  $L((r)) = L(r)$ . Thus, parentheses do not change the language. They are used only to adjust the precedence of the operations.

Presedens:

**\***, konkatenering, |

$L(\epsilon)$  = språket som bare inneholder  $\epsilon$ -strenger  
 $L(\emptyset)$  = språket uten noen strenger

# Eksempler - I

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

- Strenger som har nøyaktig en b

$(a | c)^* b (a | c)^*$

- Strenger som har maks en b

$(a | c)^* | (a | c)^* b (a | c)^*$

$(a | c)^* (b | \epsilon) (a | c)^*$

- Strenger som har formen `aaaabaaaa` (dvs like mange a-er)

$(a^n b a^n) \quad ?$

## Eksempler - II

- Strenger som ikke inneholder to b-er etter hverandre

$(b(a | c))^*$  en a eller c etter hver b

$((a | c)^* | (b(a | c))^*)^*$  kombinert med  $(a | c)^*$

$((a | c) | (b(a | c)))^*$  forenklet

$(a | c | ba | bc)^*$  enda mer forenklet

$(a | c | ba | bc)^* (b | \varepsilon)$  får med b på slutten

$(notb | b notb)^* (b | \varepsilon)$  hvor  $notb = a | c$

# Mer rasjonelle skrivemåter

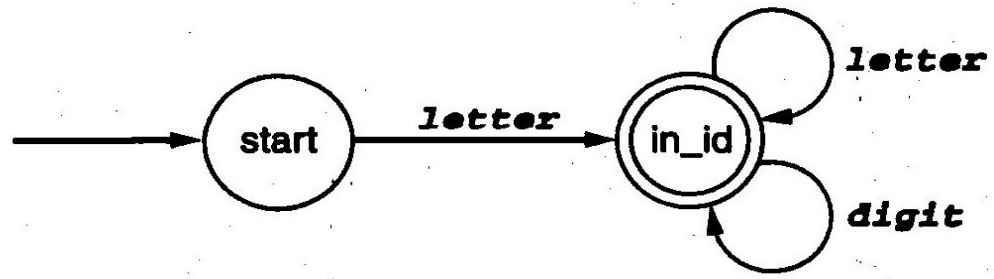
- $r^+ = rr^*$
- $r? = r \mid \varepsilon$
- Gi regulære uttrykk navn (regulære definisjoner), og så bruke disse navnene videre i regulære uttrykk:
  - $\text{digit} = [0-9]$
  - $\text{nat} = \text{digit}^+$
  - $\text{signedNat} = (+|-)\text{nat}$
  - $\text{number} = \text{signedNat} (". " \text{nat})?(E \text{ signedNat})?$
- Spesielle skrivemåter for tegnmengder
  - $[0-9]$   $[a-z]$
  - $\sim a$  ikke  $a$        $\sim(a \mid b)$  hverken  $a$  eller  $b$
  - $\cdot$  hele  $\Sigma$        $\cdot^*$  en vilkårlig streng

# Deterministisk Endelig Automat

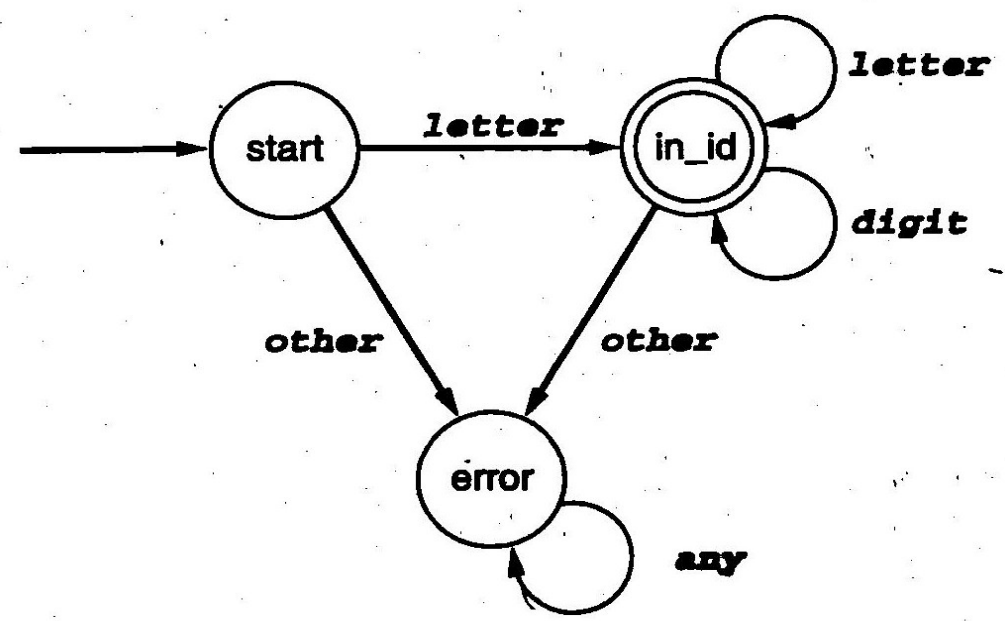
A **DFA** (deterministic finite automaton)  $M$  consists of an alphabet  $\Sigma$ , a set of states  $S$ , a transition function  $T: S \times \Sigma \rightarrow S$ , a start state  $s_0 \in S$ , and a set of accepting states  $A \subset S$ . The language accepted by  $M$ , written  $L(M)$ , is defined to be the set of strings of characters  $c_1c_2 \dots c_n$  with each  $c_i \in \Sigma$  such that there exist states  $s_1 = T(s_0, c_1)$ ,  $s_2 = T(s_1, c_2)$ ,  $\dots$ ,  $s_n = T(s_{n-1}, c_n)$  with  $s_n$  an element of  $A$  (i.e., an accepting state).

# DFA

$identifier = letter (letter \mid digit)^*$



Funksjonen  $T: S \times \Sigma \rightarrow S$  er ikke fullstendig definert



Denne utvidelsen (med en feiltilstand) er underforstått

# DFA for tall

## Regulære definisjoner

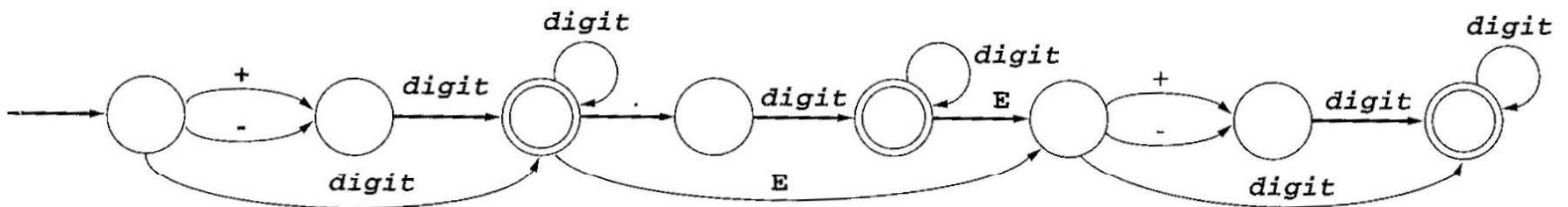
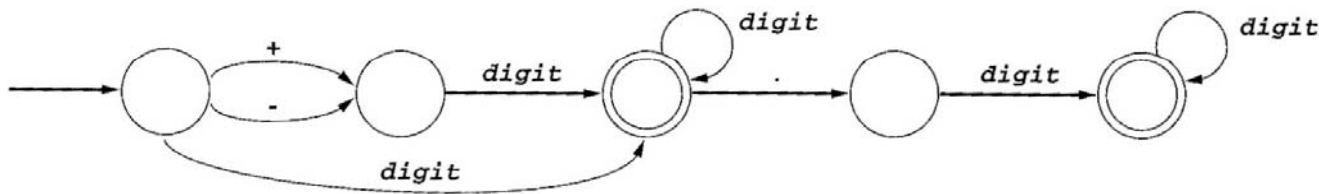
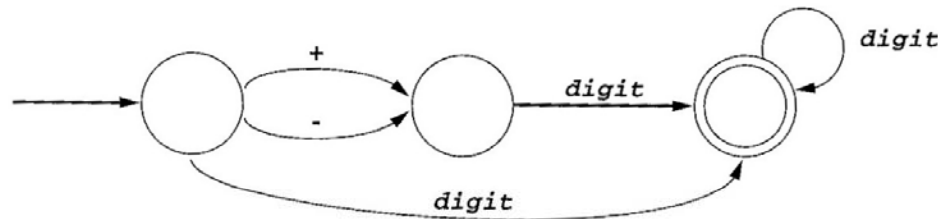
digit = [0-9]

nat = digit+

signedNat = (+|-)? nat

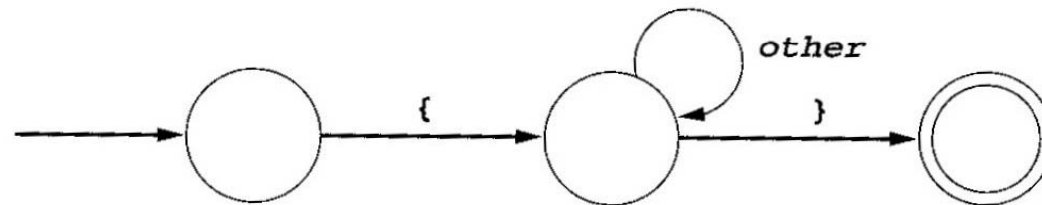
number =

signedNat ("."nat)?(E signedNat)?

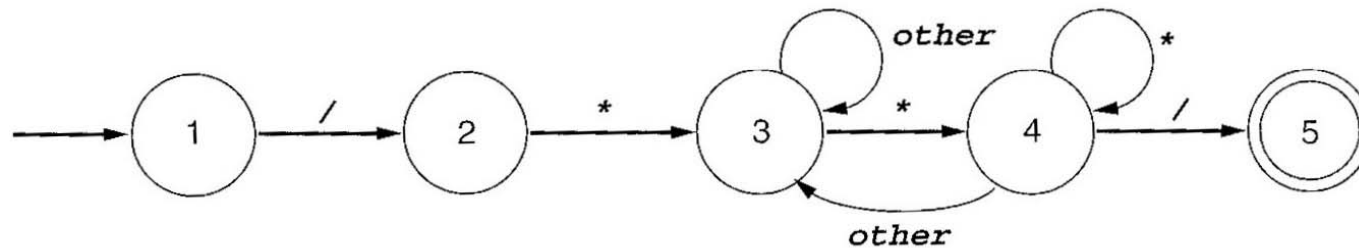


# DFA for kommentarer

Pascal type

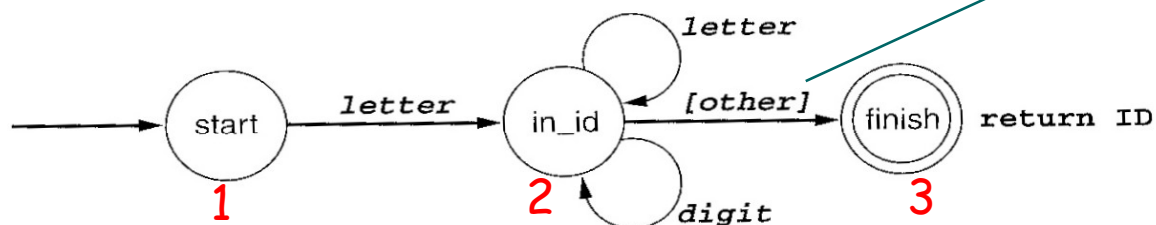


C, C++, Java type





# Implementasjon 1 av DFA

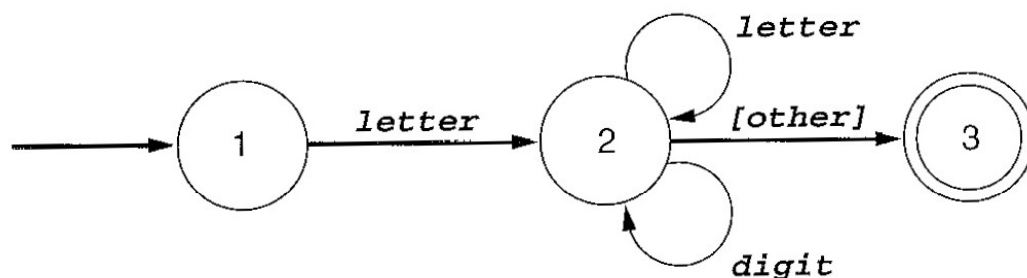


ikke flytt til neste tegn

```
{ starting in state 1 }  
if the next character is a letter then  
  advance the input;  
  { now in state 2 }  
  while the next character is a letter or a digit do  
    advance the input; { stay in state 2 }  
  end while;  
  { go to state 3 without advancing the input }  
  accept;  
else  
  { error or other cases }  
end if;
```

er neste tegn et siffer: tall  
er neste tegn {+,-,\*,/}: arit. operator  
...  
...

# Implementasjon 2 av DFA



Tilstanden eksplisitt representert ved et tall

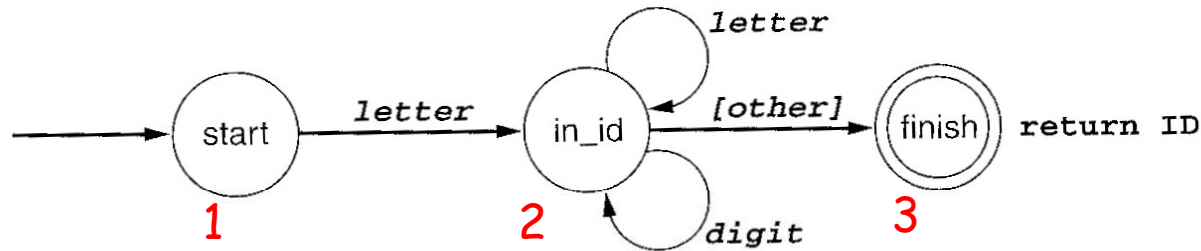
```
state := 1; { start }
while state = 1 or 2 do
  case state of
  1: case input character of
      letter : advance the input;
          state := 2;
      else state := ... { error or other };
    end case;
  2: case input character of
      letter, digit: advance the input;
          state := 2; { actually unnecessary }
      else state := 3;
    end case;
  end case;
end while;
if state = 3 then accept else error ;
```

hvis det bare er navn vi leter etter

hvis vi også aksepterer tall, vil siffer føre oss til en ny lovlig tilstand

# Implementasjon 3 av DFA

- Har et fast program
- Automaten ligger i en tabell



state \ input char	letter	digit	other
1	2		
2	2	2	3
3			

```

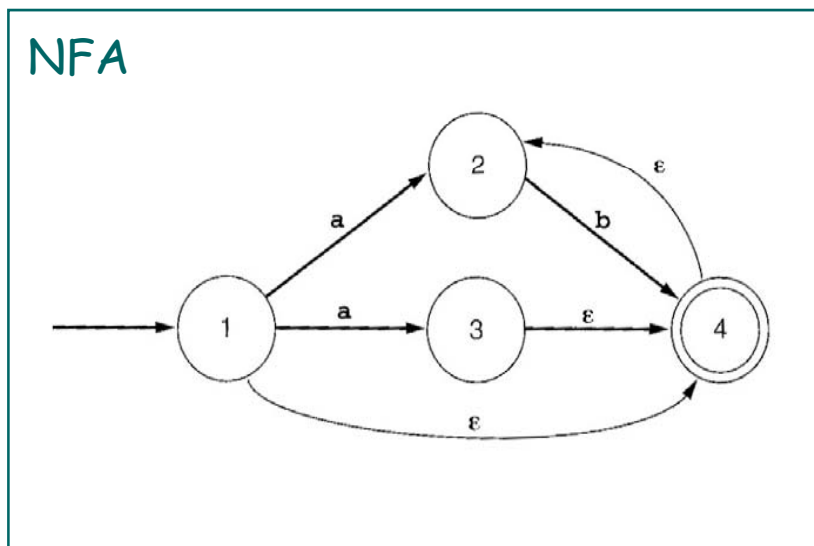
state := 1;
ch := next input character;
while not Accept[state] and not error(state) do
  newstate := T[state,ch];
  if Advance[state,ch] then ch := next input char;
  state := newstate;
end while;
if Accept[state] then accept;
  
```

state \ input char	letter	digit	other	Accepting
1	2			no
2	2	2	[3]	no
3				yes

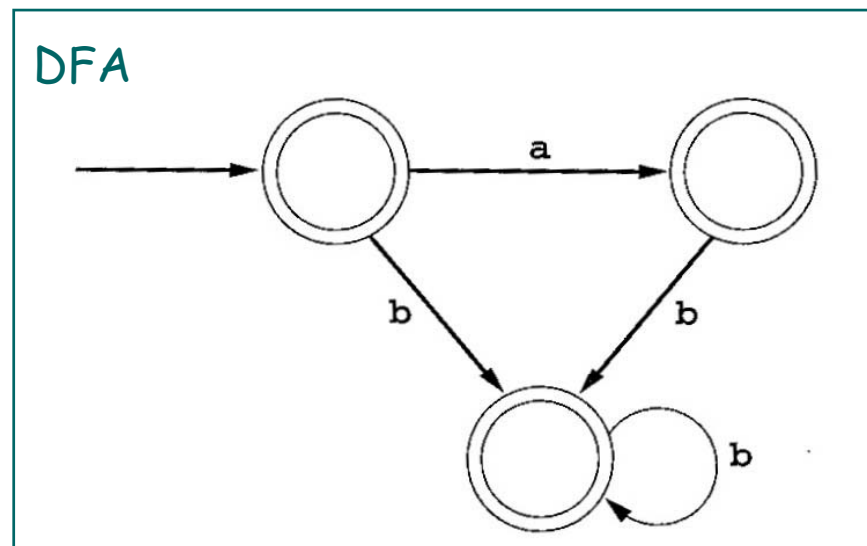
# Definisjon av NFA

An **NFA** (nondeterministic finite automaton)  $M$  consists of an alphabet  $\Sigma$ , a set of states  $S$ , a transition function  $T: S \times (\Sigma \cup \{\varepsilon\}) \rightarrow \wp(S)$ , a start state  $s_0$  from  $S$ , and a set of accepting states  $A$  from  $S$ . The language accepted by  $M$ , written  $L(M)$ , is defined to be the set of strings of characters  $c_1c_2 \dots c_n$  with each  $c_i$  from  $\Sigma \cup \{\varepsilon\}$  such that there exist states  $s_1$  in  $T(s_0, c_1)$ ,  $s_2$  in  $T(s_1, c_2)$ ,  $\dots$ ,  $s_n$  in  $T(s_{n-1}, c_n)$  with  $s_n$  an element of  $A$ .

- Kan ofte være lett å sette opp, spesielt ut fra et regulært uttrykk
- Kan ses på som syntaks-diagrammer

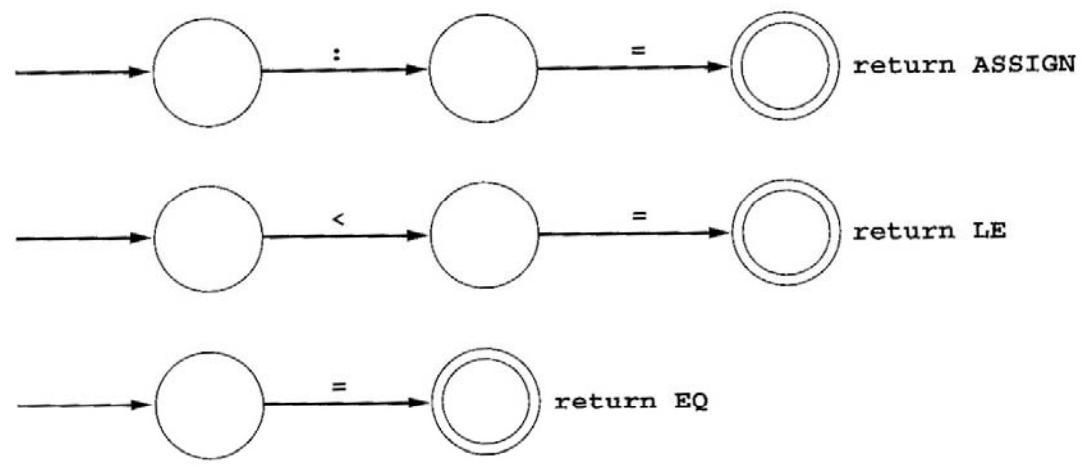


- ikke greit å gjøre til algoritme

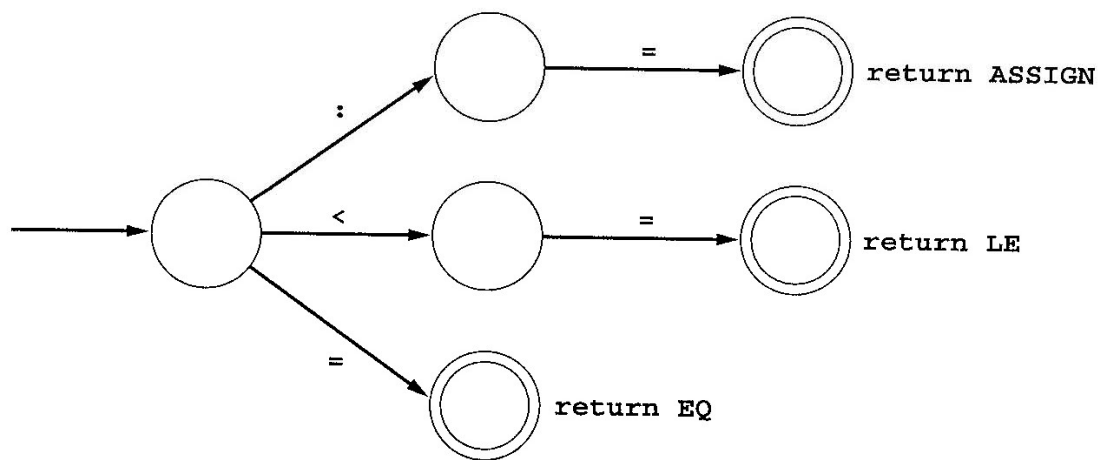


- beskriver samme språk

# Motivasjon for å innføre NFA-er (1)

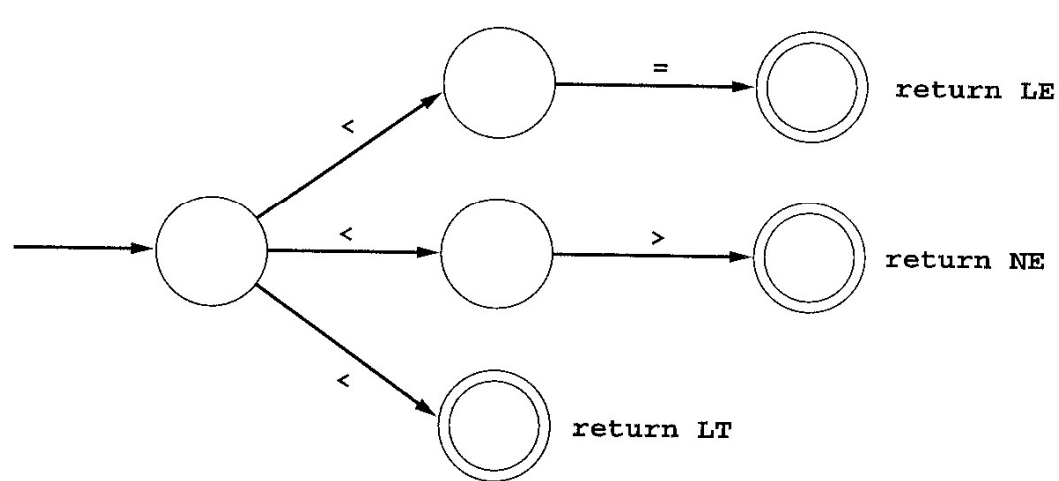


DFA-er  
for de  
enkelte  
token

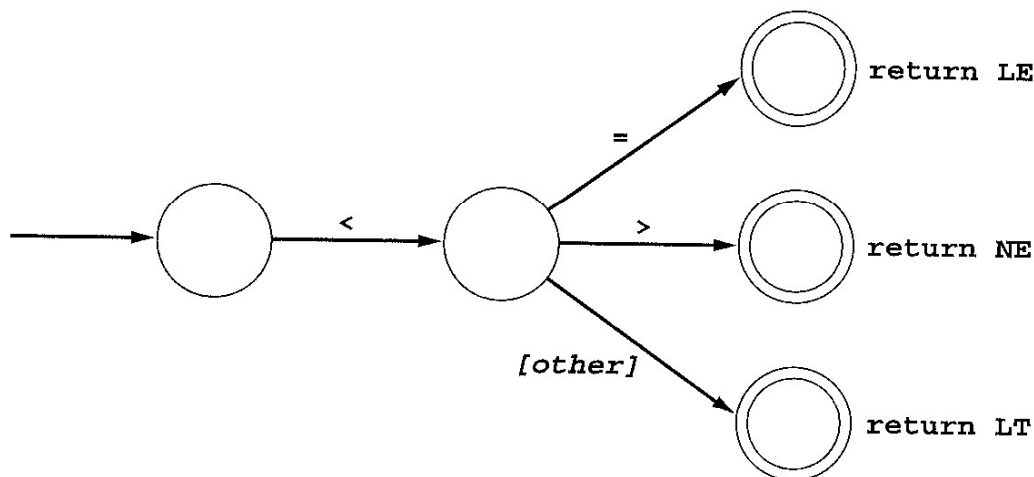


Siden de  
starter  
forskjellig går  
det greit å slå  
dem sammen,  
men de  
opprindelige  
automater er  
der ikke lenger

# Motivasjon for å innføre NFA-er (2)

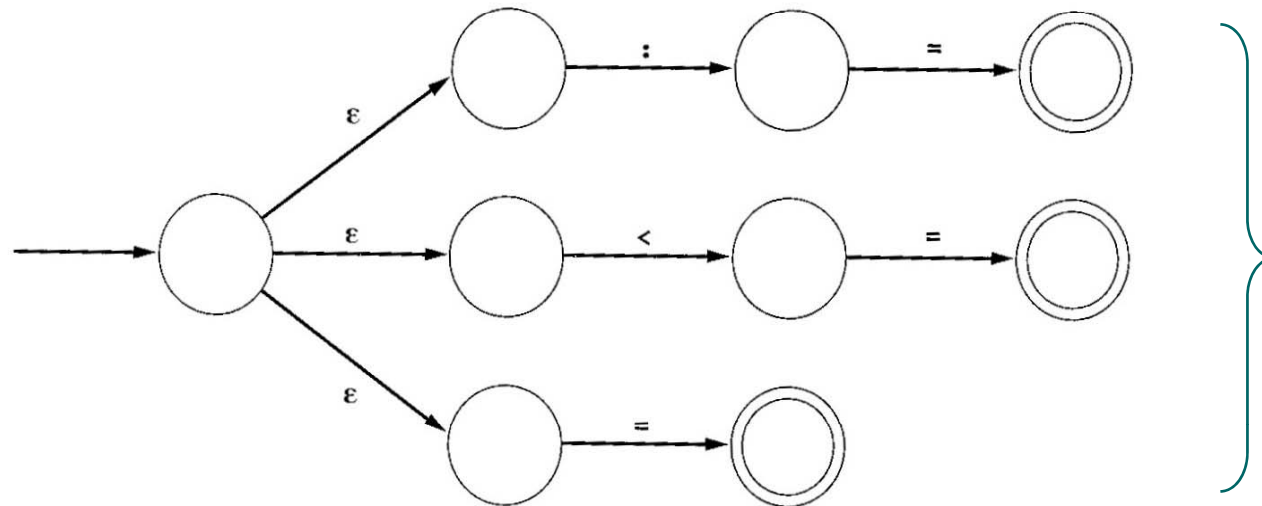


Med disse token-  
definisjoner går  
det ikke med en  
enkel  
sammenslåing



I dette tilfellet går  
det an å slå  
sammen på  
første tegn

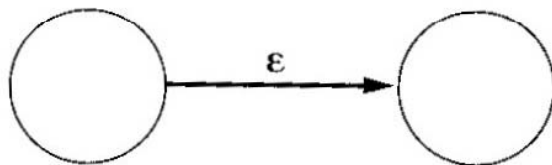
# Motivasjon for å innføre NFA-er (3)



Ville  
være  
greiere  
generelt  
å gjøre  
det slik

Derfor

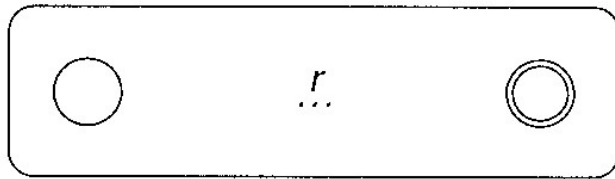
(1) Innfører  $\epsilon$ -kant



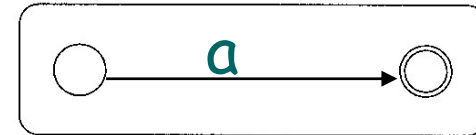
(2) Fjerner kravet om  
bare én a-kant ut fra  
hver tilstand

# Thomson-konstruksjon I

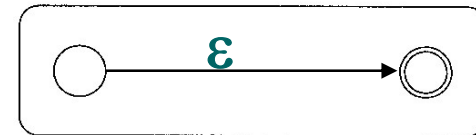
(Ethvert regulært uttrykk skal bli automat på denne formen:



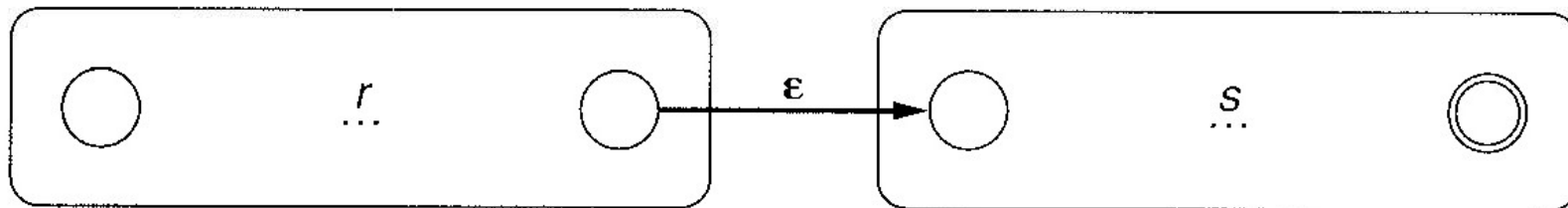
$a$ :



$\epsilon$ :



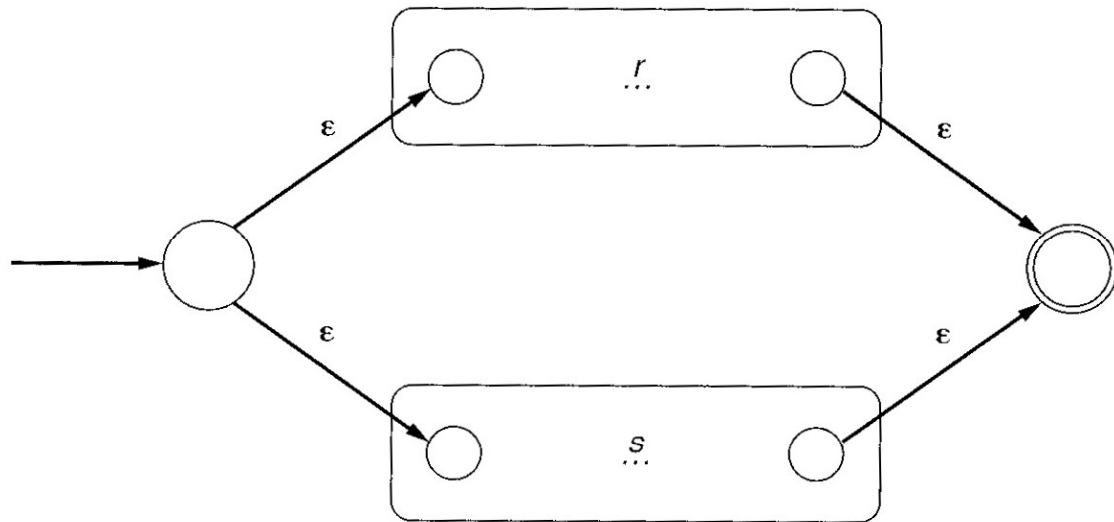
$rs$ :



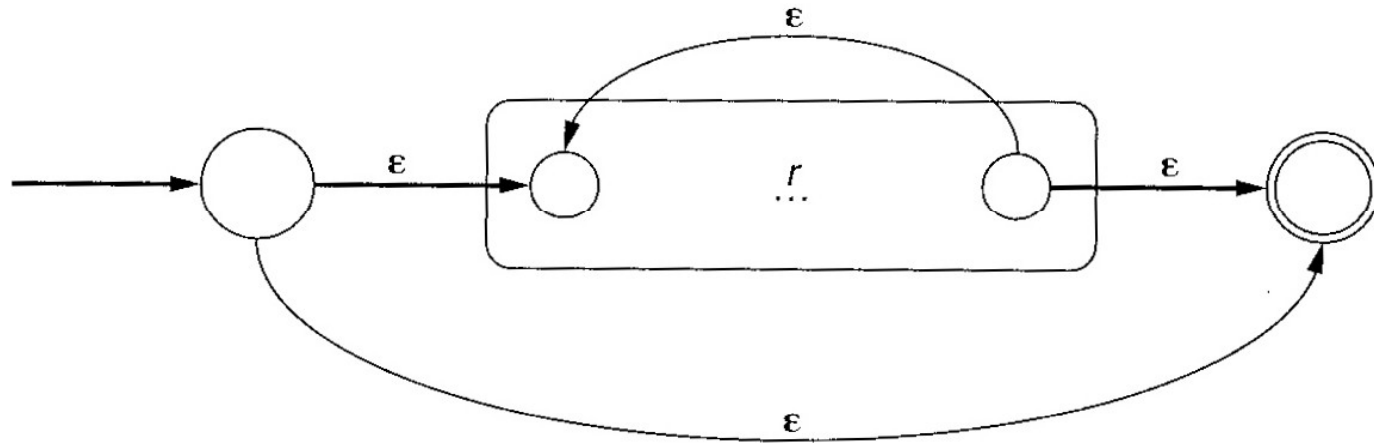


# Thomson-konstruksjon II

$r \mid s$ :



$r^*$ :



# Eksempel Thomson-konstruksjon

ab | a

