

Algoritmy syntaktické analýzy (pomocí CFG)

Vladimír Kadlec, Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz

http://nlp.fi.muni.cz/poc_lingv/

Obsah:

- Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- Tomitův zobecněný analyzátor LR
- Algoritmus CKY
- Tabulkové analyzátory
- Porovnání jednotlivých algoritmů
- Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s ϵ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- Tomitův zobecněný algoritmus LR (*generalized LR*)
- algoritmus CKY – *Cocke, Kasami, Younger*;
- tabulková (chart) analýza (*Chart Parsing*):
 - shora dolů (*top-down*);
 - zdola nahoru (*bottom-up*);
 - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s ϵ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- Tomitův zobecněný algoritmus LR (*generalized LR*)
- algoritmus CKY – *Cocke, Kasami, Younger*;
- tabulková (*chart*) analýza (*Chart Parsing*):
 - shora dolů (*top-down*);
 - zdola nahoru (*bottom-up*);
 - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s ϵ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
 - shora dolů (*top-down*);
 - zdola nahoru (*bottom-up*);
 - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s ϵ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
 - shora dolů (*top-down*);
 - zdola nahoru (*bottom-up*);
 - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných bezkontextových gramatik

- **obecná CFG** – rozsáhlá, (silně) víceznačná, s ϵ -pravidly
- všechny uvedené algoritmy pracují s *polynomiální časovou a prostorovou složitostí*
- **Tomitův zobecněný algoritmus LR** (*generalized LR*)
- **algoritmus CKY** – *Cocke, Kasami, Younger*;
- **tabulková (chart) analýza** (*Chart Parsing*):
 - shora dolů (*top-down*);
 - zdola nahoru (*bottom-up*);
 - analýza řízená hlavou pravidla (*head-driven*);

Syntaktická analýza

- Vstupy:

- řetězec lexikálních kategorií (preterminálních symbolů) $a_1 a_2 \dots a_n$

např.: ADJ CONJ ADJ N V PREP N '.'

- bezkontextová gramatika $G = \langle N, \Sigma, P, S \rangle$.

- Výstup:

- efektivní reprezentace derivačních stromů.

Syntaktická analýza

- Vstupy:

- řetězec lexikálních kategorií (preterminálních symbolů) $a_1 a_2 \dots a_n$

např.: ADJ CONJ ADJ N V PREP N '.'

- bezkontextová gramatika $G = \langle N, \Sigma, P, S \rangle$.

- Výstup:

- efektivní reprezentace derivačních stromů.

Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR**
- 3 Algoritmus CKY
- 4 Tabulkové analyzátory
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů
- 6 Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: *Efficient parsing for natural language*, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

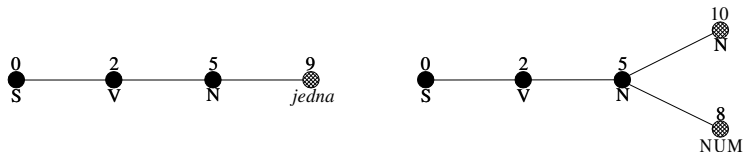
Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **generalized LR parser (GLR)**
- Masaru Tomita: **Efficient parsing for natural language**, 1986
- standardní **LR tabulka**, která může obsahovat **konflikty**;
- zásobník je reprezentován **acyklickým orientovaným grafem (DAG)**
- derivační stromy jsou uloženy ve **sbaleném "lese" stromů**
- v podstatě stejný jako algoritmus LR
- udržujeme si **seznam aktivních uzlů** zásobníku (grafu)
- akce **redukce** provádíme vždy před akcemi čtení
- akci **čtení** provádíme pro všechny aktivní uzly najednou
- kde je to možné, tam uzly **slučujeme**

Příklad konfliktu redukce/redukce



stav	položka	akce	symbol	další stav
5	$CLAUSE \rightarrow V N \bullet NUM$	shift	NUM	8
	$NN \rightarrow N \bullet N$		N	10
	$NUM \rightarrow \bullet jedna$		$jedna$	9
	$N \rightarrow \bullet tramvaj$		$tramvaj$	7
	$N \rightarrow \bullet jedna$			
9	$NUM \rightarrow jedna \bullet$	reduce (6)		
	$N \rightarrow jedna \bullet$	reduce (5)		

Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR
- 3 Algoritmus CKY**
- 4 Tabulkové analyzátory
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů
- 6 Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Algoritmus CKY

CNF: $A \rightarrow BC$
 $D \rightarrow 'd'$

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod libovolné CFG do CNF:

1. přidáme nový kořen S_0 : $S_0 \rightarrow S$

2. eliminujeme ϵ -pravidla:

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

3. eliminujeme jednoduchá pravidla:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

4. rozgenerujeme dlouhá pravidla:

$$A \rightarrow BCD \rightarrow \begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

CNF: $A \rightarrow BC$
 $D \rightarrow 'd'$

- **Převod** libovolné CFG do CNF:

1. přidáme **nový kořen** S_0 :
2. eliminujeme ϵ -pravidla:

$S_0 \rightarrow S$

$S \rightarrow Ab \mid B$
 $A \rightarrow a \mid \epsilon$

\rightarrow

$S \rightarrow Ab \mid b \mid B$
 $A \rightarrow a$

3. eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$A \rightarrow B$
 $B \rightarrow a \mid CD$

\rightarrow

$A \rightarrow a \mid CD$
 $B \rightarrow a \mid CD$

4. rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$A \rightarrow BCD$

\rightarrow

$A \rightarrow BA_1$
 $A_1 \rightarrow CD$

Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

$$\text{CNF: } \begin{array}{l} A \rightarrow BC \\ D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- Převod** libovolné CFG do CNF:

1. přidáme **nový kořen** S_0 :

$$S_0 \rightarrow S$$

2. eliminujeme ϵ -pravidla:

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

\rightarrow

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

3. eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

\rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

4. rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

\rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod** libovolné CFG do CNF:

$$\text{CNF: } \begin{array}{l} A \rightarrow BC \\ D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- přidáme **nový kořen** S_0 :
- eliminujeme ϵ -pravidla:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**

$$\text{CNF: } \begin{array}{l} A \rightarrow BC \\ D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- **Převod** libovolné CFG do CNF:

1. přidáme **nový kořen** S_0 :
2. eliminujeme ϵ -pravidla:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

→

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

3. eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

→

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

4. rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

→

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

Algoritmus CKY

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**
- Převod** libovolné CFG do CNF:

$$\text{CNF: } \begin{array}{l} A \rightarrow BC \\ D \rightarrow 'd' \end{array}$$

- přidáme **nový kořen** S_0 :
- eliminujeme ϵ -pravidla:

$$S_0 \rightarrow S$$

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid B \\ A \rightarrow a \mid \epsilon \end{array}$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} S \rightarrow Ab \mid b \mid B \\ A \rightarrow a \end{array}$$

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow a \mid CD \\ B \rightarrow a \mid CD \end{array}$$

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

 \rightarrow

$$\begin{array}{l} A \rightarrow BA_1 \\ A_1 \rightarrow CD \end{array}$$

Algoritmus CKY, příklad – zadání

- vstupní gramatika je:

$$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$$
$$X \rightarrow SA$$
$$Y \rightarrow SB$$
$$A \rightarrow a$$
$$B \rightarrow b$$

- vstupní řetězec je $w = abaaba$.

Algoritmus CKY, příklad – zadání

- vstupní gramatika je:

$$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$$
$$X \rightarrow SA$$
$$Y \rightarrow SB$$
$$A \rightarrow a$$
$$B \rightarrow b$$

- vstupní řetězec je $w = abaaba$.

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A					
2						
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B				
2						
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A			
2						
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2						
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y					
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X				
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3						
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S					
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset				
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4						
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X					
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X	S				
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X	S	\emptyset			
5						
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X	S	\emptyset			
5	\emptyset					
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X	S	\emptyset			
5	\emptyset	X				
6						

Algoritmus CKY, příklad – řešení (matice V)

a b a a b a

$S \rightarrow AA|BB|AX|BY|a|b$
 $X \rightarrow SA$
 $Y \rightarrow SB$
 $A \rightarrow a$
 $B \rightarrow b$

p – pozice, q – délka

$q \backslash p$	1	2	3	4	5	6
1	S, A	S, B	S, A	S, A	S, B	S, A
2	Y	X	S, X	Y	X	
3	S	\emptyset	Y	S		
4	X	S	\emptyset			
5	\emptyset	X				
6	S					

Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.

Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky n derivujeme **podřetězce** symbolů **délky q** na **pozici p** , značíme $w_{p,q}$, $1 \leq p, q \leq n$.

Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky n derivujeme **podřetězce** symbolů **délky q** na **pozici p** , značíme $w_{p,q}$, $1 \leq p, q \leq n$.
- Derivace **řetězců délky 1**, $A \Rightarrow w_{p,1}$, je prováděno prohledáváním terminálních pravidel.

Algoritmus CKY pokrač.

- Gramatika musí být v **Chomského normální formě**.
- Pro daný vstup délky n derivujeme **podřetězce** symbolů **délky q** na **pozici p** , značíme $w_{p,q}$, $1 \leq p, q \leq n$.
- Derivace **řetězců délky 1**, $A \Rightarrow w_{p,1}$, je prováděno prohledáváním terminálních pravidel.
- Derivace **delších řetězců** $A \Rightarrow^* w_{p,q}$, $q \geq 2$ vyžaduje aby platilo $A \Rightarrow BC \Rightarrow^* w_{p,q}$. Tedy z B derivujeme řetězec délky k , $1 \leq k \leq q$, a z C derivujeme zbytek, řetězec délky $q - k$. Tzn. $B \Rightarrow^* w_{p,k}$ a $C \Rightarrow^* w_{p+k,q-k}$. Kratší řetězce máme tedy vždy “předpočítané.”

Algoritmus CKY pokrač.

```

program CKY Parser;
begin
  for  $p := 1$  to  $n$  do  $V[p, 1] := \{A \mid A \rightarrow a_p \in P\}$ ;
  for  $q := 2$  to  $n$  do
    for  $p := 1$  to  $n - q + 1$  do
       $V[p, q] = \emptyset$ ;
      for  $k := 1$  to  $q - 1$  do
         $V[p, q] =$ 
           $V[p, q] \cup$ 
           $\{A \mid A \rightarrow BC \in P, B \in V[p, k], C \in V[p + k, q - k]\}$ ;
      od
    od
  od
end

```

složitost CKY je $O(n^3)$

Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR
- 3 Algoritmus CKY
- 4 Tabulkové analyzátoři**
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů
- 6 Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Tabulkové (chart) analyzátoři

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
 - shora dolů;
 - zdola nahoru;
 - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:
Sikkel Klaas: *Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm*, 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátoři typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$, kde:
 - i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě
 - a $A \rightarrow \alpha \beta$ je pravidlem vstupní gramatiky.

Tabulkové (chart) analyzátořy

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
 - shora dolů;
 - zdola nahoru;
 - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$, kde:
 - i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě
 - a $A \rightarrow \alpha \beta$ je pravidlem vstupní gramatiky.

Tabulkové (chart) analyzátořy

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
 - shora dolů;
 - zdola nahoru;
 - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$, kde:
 - i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě
 - a $A \rightarrow \alpha \beta$ je pravidlem vstupní gramatiky.

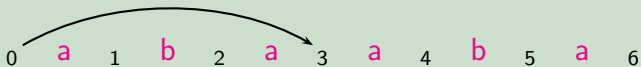
Tabulkové (chart) analyzátořy

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátořů**:
 - shora dolů;
 - zdola nahoru;
 - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:
Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátořy typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$, kde:
 - i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě
 - a $A \rightarrow \alpha \beta$ je pravidlem vstupní gramatiky.

Tabulkové (chart) analyzátory

- Rozlišujeme tři základní typy **tabulkových analyzátorů**:
 - shora dolů;
 - zdola nahoru;
 - analýza řízená hlavou pravidla.
- Mnoho dalších variant je popsáno v:

Sikkel Klaas: [Parsing Schemata: A Framework for Specification and Analysis of Parsing Algorithm](#), 1997.
- Neklade se žádné omezení na gramatiku.
- Analyzátory typu “chart” v sobě většinou obsahují dvě datové struktury **chart** a **agendu**. Chart a agenda obsahují tzv. *hrany*.
- **Hrana** je trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta, i, j]$, kde:
 - i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě
 - a $A \rightarrow \alpha\beta$ je pravidlem vstupní gramatiky.

$$[A \rightarrow BC \bullet DE, 0, 3]$$


Obecný analyzátoř typu “chart”

```

program Chart Parser;
begin
  inicializuj (CHART);
  inicializuj (AGENDA);
  while (AGENDA ≠ ∅) do
    E := vezmi hranu z AGENDA;
    for each (hrana F, která může být vytvořena pomocí
      hrany E a nějaké jiné hrany z CHART) do
      if F ∉ AGENDA and F ∉ CHART and F ≠ E
        then přidej F do AGENDA;
      fi;
    od;
    přidej E do CHART;
  od;
end;

```

složitost tabulkové analýzy je $O(n^3)$ ($|Pravidla|$ bereme jako konstantu)

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (fundamentální pravidlo)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_{*}, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma_{*} A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_{*} \beta, i, k]$.
- (uzavřené hrany)* pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma_{*} A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha_{*}, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_{*} \beta, i, k]$.
- (terminál na vstupu)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_{*} a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \beta, i, j+1]$.
- (predikce)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_{*} B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, j]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (fundamentální pravidlo)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (uzavřené hrany)* pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (terminál na vstupu)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (predikce)* pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, j]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$.

Varianta shora dolů

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = S \rightarrow \alpha$ přidej hranu $[S \rightarrow \bullet \alpha, 0, 0]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet B \beta, i, j]$ potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \gamma \in P$, vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet \gamma, i, i]$.

Příklad – tabulkové analýzy (typu chart)

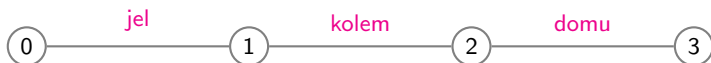
Gramatika:

<i>S</i>	→	<i>CLAUSE</i>
<i>CLAUSE</i>	→	<i>V OPTPREP N</i>
<i>OPTPREP</i>	→	ϵ
<i>OPTPREP</i>	→	<i>PREP</i>
<i>V</i>	→	<i>jel</i>
<i>PREP</i>	→	<i>kolem</i>
<i>N</i>	→	<i>domu</i>
<i>N</i>	→	<i>kolem</i>

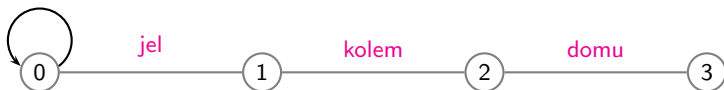
Věta:

"jel kolem domu" ($a_1=jel$, $a_2=kolem$, $a_3=domu$).

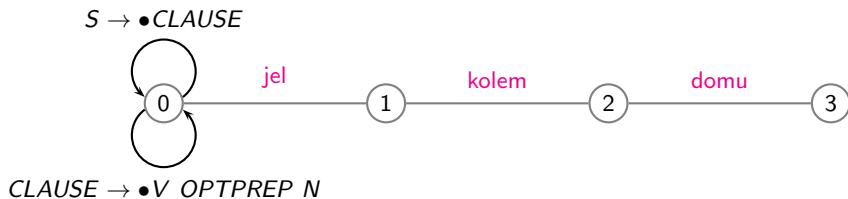
Příklad – chart po analýze shora dolů



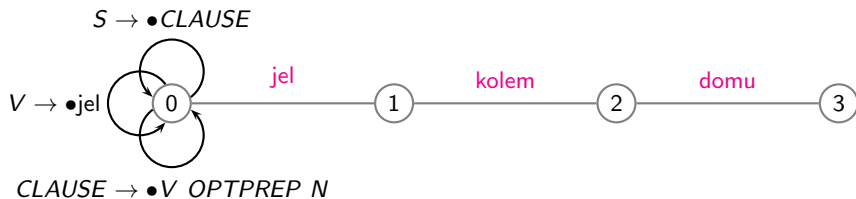
Příklad – chart po analýze shora dolů

 $S \rightarrow \bullet \text{CLAUSE}$ 

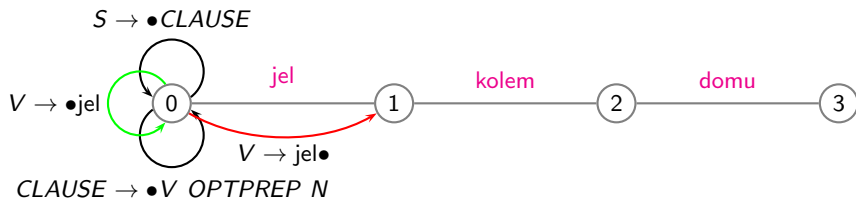
Přříklad – chart po analýze shora dolů



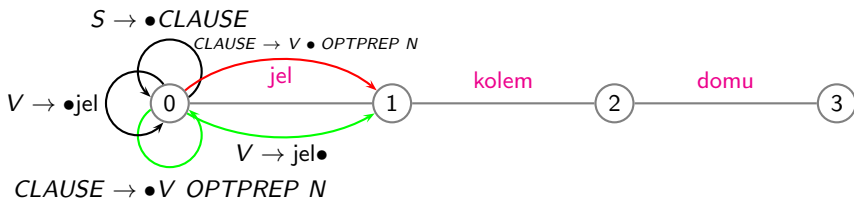
Přříklad – chart po analýze shora dolů



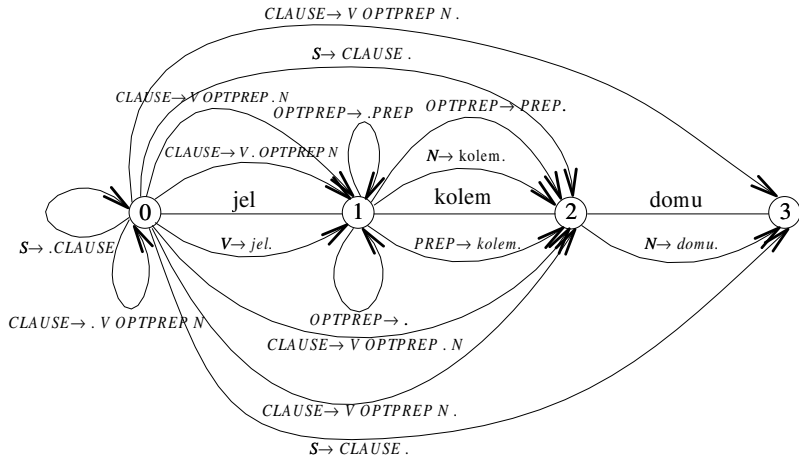
Příklad – chart po analýze shora dolů



Příklad – chart po analýze shora dolů



Příklad – chart po analýze shora dolů



Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma_\bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha_\bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Varianta zdola nahoru

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow a_i \alpha$ přidej hranu $[A \rightarrow \bullet a_i \alpha, i-1, i-1]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- (*fundamentální pravidlo*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*uzavřené hrany*) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \gamma \bullet A \beta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- (*terminál na vstupu*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- (*predikce*) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, i]$.

Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.
Například pravidlo $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$ může mít hlavy $V, PREP, N$.
- Epsilon pravidlo má hlavu ϵ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$, kde i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě a $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$ je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v β .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.

Například pravidlo $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$ může mít hlavy $V, PREP, N$.

- Epsilon pravidlo má hlavu ϵ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$, kde i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě a $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$ je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v β .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.
 Například pravidlo $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$ může mít hlavy $V, PREP, N$.
- Epsilon pravidlo má hlavu ϵ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$, kde i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě a $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$ je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v β .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.
 Například pravidlo $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$ může mít hlavy $V, PREP, N$.
- Epsilon pravidlo má hlavu ϵ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$, kde i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě a $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$ je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v β .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

Analýza řízená hlavou pravidla

- *head-driven chart parsing*
- **Hlava pravidla** – libovolný (určený) symbol z pravé strany pravidla.
Například pravidlo $CLAUSE \rightarrow V \underline{PREP} N$ může mít hlavy $V, PREP, N$.
- Epsilon pravidlo má hlavu ϵ .
- Hrana v analyzátoru řízeném hlavou pravidla – trojice $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \bullet \gamma, i, j]$, kde i, j jsou celá čísla, $0 \leq i \leq j \leq n$ pro n slov ve vstupní větě a $A \rightarrow \alpha \beta \gamma$ je pravidlo vstupní gramatiky a hlava je v β .
- Algoritmus vlastní analýzy (varianta zdola nahoru) je podobný jednoduchému přístupu. Analýza neprobíhá zleva doprava, ale začíná na hlavě daného pravidla.

Analyzátoř řízený hlavou pravidla

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$ (a_i je hlavou pravidla) přidej hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Je tato inicializace v pořádku?

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné ϵ ani žádný terminál jako hlava)
 Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

Analyzátoř řízený hlavou pravidla

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$ (a_i je hlavou pravidla) přidej hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Je tato inicializace v pořádku?

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné ϵ ani žádný terminál jako hlava)
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

Analyzátoř řízený hlavou pravidla

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$ (a_i je hlavou pravidla) přidej hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Je tato inicializace v pořádku?

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné ϵ ani žádný terminál jako hlava)
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

Analyzátoř řízený hlavou pravidla

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$ (a_i je hlavou pravidla) přidej hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Je tato inicializace v pořádku?

*Co když inicializace nic nepřidá? (žadné ϵ ani žádný terminál jako hlava)
Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.*

Analyzátoř řízený hlavou pravidla

Inicializace:

- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \epsilon$ přidej hrany $[A \rightarrow \bullet\bullet, 0, 0]$, $[A \rightarrow \bullet\bullet, 1, 1]$, ..., $[A \rightarrow \bullet\bullet, n, n]$ do agendy.
- $\forall p \in P \mid p = A \rightarrow \alpha \underline{a_i} \beta$ (a_i je hlavou pravidla) přidej hranu $[A \rightarrow \alpha \bullet a_i \bullet \beta, i-1, i]$ do agendy.
- počáteční chart je prázdný.

Je tato inicializace v pořádku?

Co když inicializace nic nepřidá? (žadné ϵ ani žádný terminál jako hlava)
 Odpověď: taková gramatika by generovala prázdný jazyk.

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

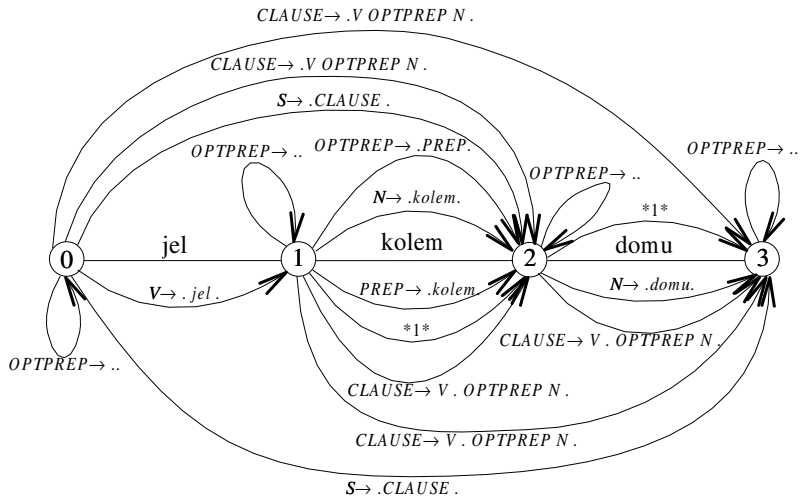
- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Analyzátoř řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

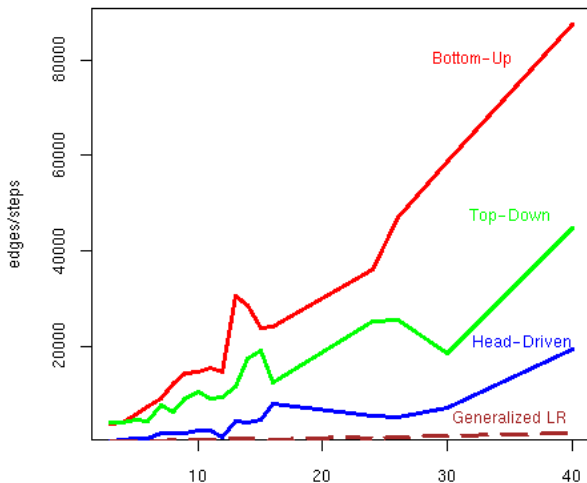
- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- b₁) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$.
- b₂) pokud je E ve tvaru $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$, potom pro každou hranu $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \gamma \bullet \delta, j, l]$.
- c₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta a_i \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_i \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- c₂) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma a_{j+1} \bullet \delta, i, j+1]$.
- d) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow \beta \underline{A} \gamma$ ve vstupní gramatice vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet A \bullet \gamma, i, j]$ (symbol A je hlavou pravidla).

Příklad – chart po analýze řízené hlavou pravidla



$*1* = CLAUSE \rightarrow V OPTPREP . N .$

Porovnání jednotlivých algoritmů



Obsah

- 1 Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- 2 Tomitův zobecněný analyzátor LR
- 3 Algoritmus CKY
- 4 Tabulkové analyzátory
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů
- 6 Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Syntaktická analýza s využitím strojového učení

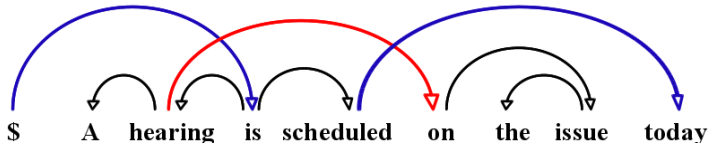
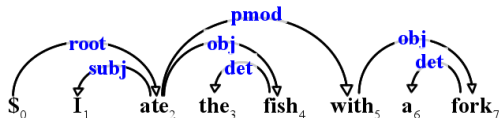
- nejčastěji pro **závislostní formalismy**
- **jedna hrana** pro každé slovo
- složitější pro **neprojektivní stromy**

Syntaktická analýza s využitím strojového učení

- nejčastěji pro **závislostní formalismy**
- **jedna hrana** pro každé slovo
- složitější pro **neprojektivní stromy**

Syntaktická analýza s využitím strojového učení

- nejčastěji pro **závislostní formalismy**
- **jedna hrana** pro každé slovo
- složitější pro **neprojektivní stromy**

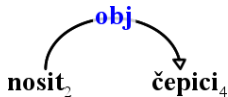


Example from "Dependency Parsing" by Kübler, Nivre, and McDonald, 2009

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany (label)**



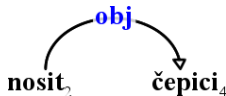
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají správnou hlavu
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají správnou hlavu a typ
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají správný kořen
- **Complete Match rate (CM)** – zcela správné analýzy

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



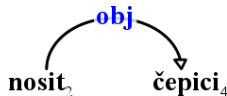
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají správnou hlavu
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají správnou hlavu a typ
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají správný kořen
- **Complete Match rate (CM)** – zcela správné analýzy

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



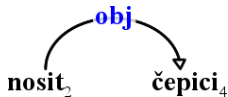
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají správnou hlavu
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají správnou hlavu a typ
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají správný kořen
- **Complete Match rate (CM)** – zcela správné analýzy

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



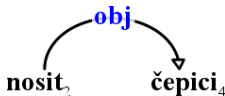
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají **správnou hlavu**
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají **správnou hlavu a typ**
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají **správný kořen**
- **Complete Match rate (CM)** – zcela **správné analýzy**

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



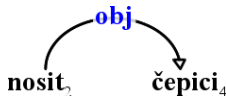
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají **správnou hlavu**
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají **správnou hlavu a typ**
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají **správný kořen**
- **Complete Match rate (CM)** – zcela **správné analýzy**

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



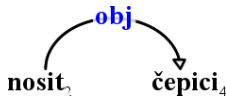
metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají **správnou hlavu**
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají **správnou hlavu a typ**
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají **správný kořen**
- **Complete Match rate (CM)** – zcela **správné analýzy**

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

- **hlava** – které slovo je **řídící**
- **potomek** – které slovo je **závislé**
- **typ** – označení **typu hrany** (*label*)



metriky (vždy procentuálně):

- **Unlabeled attachment score (UAS)** – slova, která mají **správnou hlavu**
- **Labeled attachment score (LAS)** – slova, která mají **správnou hlavu a typ**
- **Root Accuracy (RA)** – analýzy, které mají **správný kořen**
- **Complete Match rate (CM)** – zcela **správné analýzy**

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Y^* = \arg \max_{Y \in \Phi(X)} \text{score}(X, Y)$$

- $X = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Y = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(X)$ – množina všech možných závislostních stromů nad X

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Y^* = \arg \max_{Y \in \Phi(X)} \text{score}(X, Y)$$

- $X = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Y = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(X)$ – množina všech možných závislostních stromů nad X

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Y^* = \arg \max_{Y \in \Phi(X)} \text{score}(X, Y)$$

- $X = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Y = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(X)$ – množina všech možných závislostních stromů nad X

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Y^* = \arg \max_{Y \in \Phi(X)} \text{score}(X, Y)$$

- $X = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Y = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(X)$ – množina všech možných závislostních stromů nad X

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:

- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu ze **seznamu hran**
- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe skóre hran, jak najdeme Y^*
 - např. *Maximum Spanning Tree* (McDonald et al, 2005)
- **učení** (*learning problem*)
 - máme zadané věty a stromy, jak určíme skóre hran
 - pomocí rysů hran a online učení

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:

- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu ze **seznamu hran**
- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe skóre hran, jak najdeme Y^*
 - např. *Maximum Spanning Tree* (McDonald et al, 2005)
- **učení** (*learning problem*)
 - máme zadané věty a stromy, jak určíme skóre hran
 - pomocí rysů hran a online učení

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:

- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu ze **seznamu hran**
- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe **skóre** hran, jak najdeme Y^*
 - např. *Maximum Spanning Tree* (McDonald et al, 2005)
- **učení** (*learning problem*)
 - ★ máme zadané věty a stromy, jak určíme skóre hran
 - ★ pomocí rysů hran a online učení

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:


- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu ze **seznamu hran**
- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe **skóre** hran, jak najdeme Y^*
 - např. *Maximum Spanning Tree* (McDonald et al, 2005)
- **učení** (*learning problem*)
 - máme zadané **věty a stromy**, jak určíme **skóre hran**
 - pomocí **rysů hran** a **online učení**

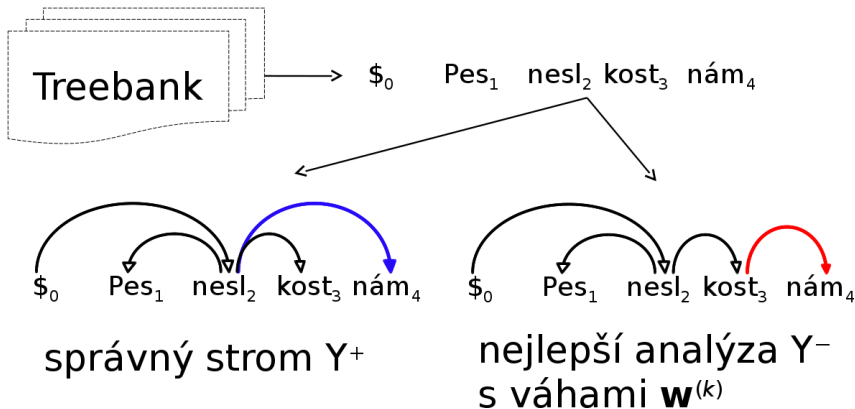
Rysy závislostních hran

Example from slides of Rush and Petrov (2012)



*	As	McGwire	neared	,	fans	went	wild
	[went]		[VBD]		[As]		[ADP]
	[VERB]		[As]		[IN]		[went, VBD]
	[went, As]		[VBD, ADP]		[went, VERB]		[As, IN]
	[VERB, IN]		[VBD, As, ADP]		[went, As, ADP]		[went, VBD, ADP]
	[ADJ, *, ADP]		[VBD, *, ADP]		[VBD, ADJ, ADP]		[VBD, ADJ, *]
	[NNS, VBD, ADP]		[NNS, VBD, *]		[ADJ, ADP, NNP]		[VBD, ADP, NNP]
	[NNS, ADP, NNP]		[NNS, VBD, NNP]		[went, left, 5]		[VBD, left, 5]
	[ADP, left, 5]		[VERB, As, IN]		[went, As, IN]		[went, VERB, IN]
	[JJ, *, IN]		[VERB, *, IN]		[VERB, JJ, IN]		[VERB, JJ, *]
	[NOUN, VERB, IN]		[NOUN, VERB, *]		[JJ, IN, NOUN]		[VERB, IN, NOUN]
	[NOUN, IN, NOUN]		[NOUN, VERB, NOUN]		[went, left, 5]		[VERB, left, 5]
	[IN, left, 5]		[went, VBD, As, ADP]		[VBD, ADJ, *, ADP]		[NNS, VBD, *, ADP]
	[NNS, VBD, ADP, NNP]		[went, VBD, left, 5]		[As, ADP, left, 5]		[went, As, left, 5]
	[went, VERB, As, IN]		[VERB, JJ, *, IN]		[NOUN, VERB, *, IN]		[VERB, JJ, IN, NOUN]
	[went, VERB, left, 5]		[As, IN, left, 5]		[went, As, left, 5]		[VERB, IN, left, 5]
	[went, As, ADP, left, 5]		[went, VBD, ADP, left, 5]		[went, VBD, As, left, 5]		[ADJ, *, ADP, left, 5]
	[VBD, ADJ, ADP, left, 5]		[VBD, ADJ, *, left, 5]		[NNS, *, ADP, left, 5]		[NNS, VBD, ADP, left, 5]
	[ADJ, ADP, NNP, left, 5]		[VBD, ADP, NNP, left, 5]		[VBD, ADJ, NNP, left, 5]		[NNS, ADP, NNP, left, 5]
	[VERB, As, IN, left, 5]		[went, As, IN, left, 5]		[went, VERB, IN, left, 5]		[went, VERB, As, left, 5]
	[VERB, *, IN, left, 5]		[VERB, JJ, IN, left, 5]		[VERB, JJ, *, left, 5]		[NOUN, *, IN, left, 5]
							[NOUN, VERB, IN, left, 5]

Online učení skóre závislotných hran

učení vah jednotlivých rysů \mathbf{w} 

$$\mathbf{w}^{(k+1)} = \mathbf{w}^{(k)} + \mathbf{f}(X, Y^+) - \mathbf{f}(X, Y^-)$$