

Algoritmy syntaktické analýzy (pomocí CFG)

Vladimír Kadlec, Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz

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

Obsah:

- Základní postupy pro syntaktickou analýzu obecných CFG
- Tomitův zobecněný analyzátor LR
- Algoritmus CYK
- 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 CYK – Cocke, Younger, Kasami;
- 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 CYK – Cocke, Younger, Kasami;
- 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 CYK** – *Cocke, Younger, Kasami*;
- **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 CYK** – *Cocke, Younger, Kasami*;
- **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 CYK** – *Cocke, Younger, Kasami*;
- **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 CYK
- 4 Tabulkové analyzátoři
- 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**

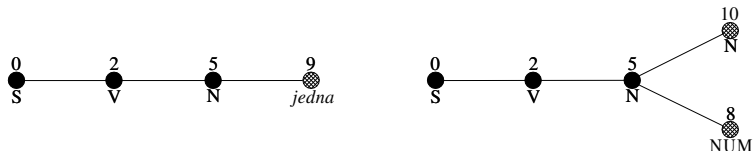
Tomitův zobecněný analyzátor LR

- **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 CYK**
- 4 Tabulkové analyzátoři
- 5 Porovnání jednotlivých algoritmů
- 6 Syntaktická analýza s využitím strojového učení

Algoritmus CYK

- 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 : $S_0 \rightarrow S$

2. eliminujeme ϵ -pravidla:

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

→

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

3. eliminujeme jednoduchá pravidla:

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

→

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

4. rozgenerujeme dlouhá pravidla:

$A \rightarrow BCD$

→

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

Algoritmus CYK

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

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

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

$S_0 \rightarrow S$

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

\rightarrow

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

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

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

\rightarrow

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

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$A \rightarrow BCD$

\rightarrow

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

Algoritmus CYK

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

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

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 CYK

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

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

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 CYK

- 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:

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

$$S_0 \rightarrow S$$

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

→

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

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

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

→

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

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

→

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

Algoritmus CYK

- 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:

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

$$S_0 \rightarrow S$$

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

→

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

- eliminujeme **jednoduchá pravidla**:

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

→

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

- rozgenerujeme **dlouhá pravidla**:

$$A \rightarrow BCD$$

→

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

Algoritmus CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK, 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 CYK pokrač.

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

Algoritmus CYK 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 CYK 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 CYK 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 CYK pokrač.

```

program CYK Parser;
begin
  for p := 1 to n do V[p, 1] := {A | A → a_p ∈ P };
  for q := 2 to n do
    for p := 1 to n - q + 1 do
      V[p, q] = ∅;
      for k := 1 to q - 1 do
        V[p, q] =
          V[p, q] ∪
          ∪ {A | A → BC ∈ P, B ∈ V[p, k], C ∈ V[p + k, q - k]};
      od
    od
  od
end

```

složitost CYK je $O(n^3)$

Obsah

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

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.

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.

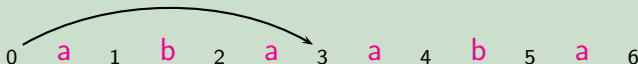
Tabulkové (chart) analyzátořy

- 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.

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


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:

- 1 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 2 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 3 (terminál na vstupu) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- 4 (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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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:

- 1 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 2 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 3 (terminál na vstupu) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- 4 (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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

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 $[B \rightarrow \bullet \gamma, j, j]$.

Příklad – tabulkové analýzy (typu chart)

Gramatika:

S	\rightarrow	$CLAUSE$
$CLAUSE$	\rightarrow	$V OPTPREP N$
$OPTPREP$	\rightarrow	ϵ
$OPTPREP$	\rightarrow	$PREP$
V	\rightarrow	jel
$PREP$	\rightarrow	$kolem$
N	\rightarrow	$domu$
N	\rightarrow	$kolem$

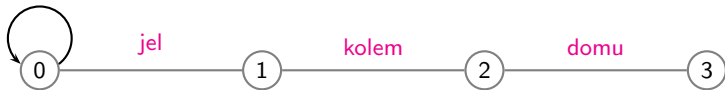
Věta:

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

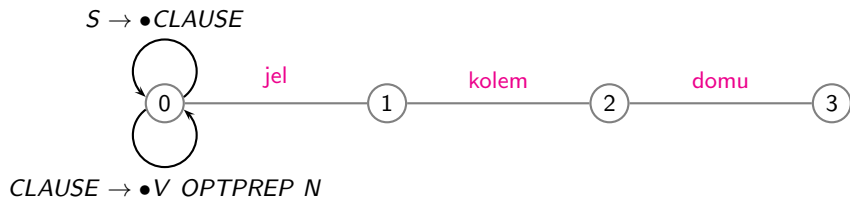
Příklad – chart po analýze shora dolů



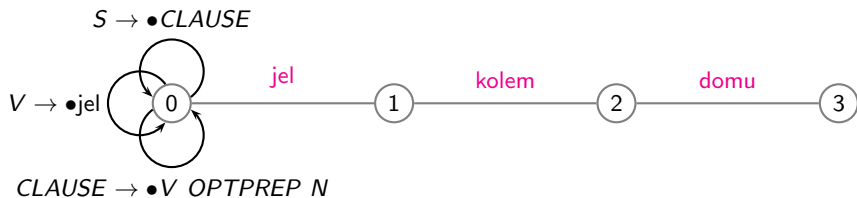
Příklad – chart po analýze shora dolů

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

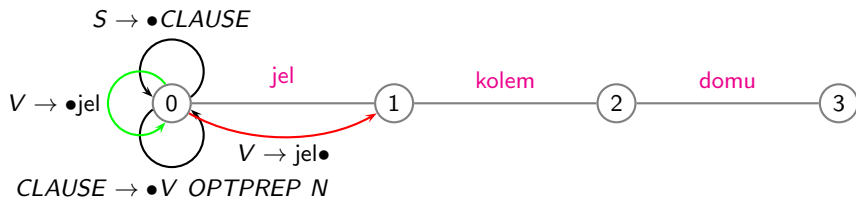
Příklad – chart po analýze shora dolů



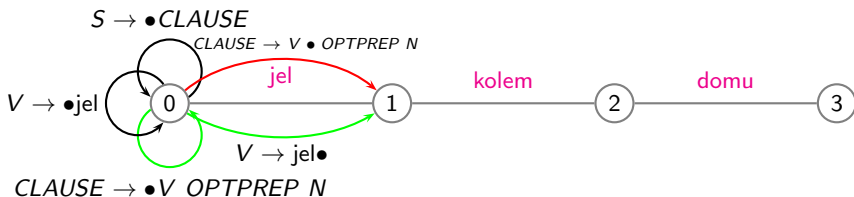
Příklad – chart po analýze shora dolů



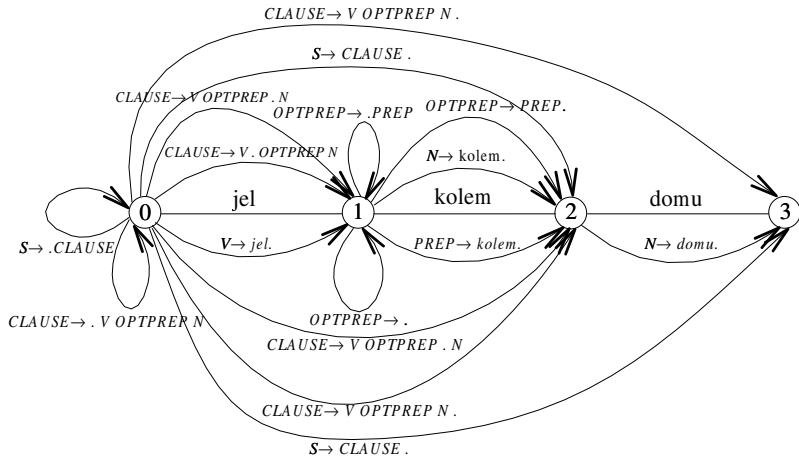
Příklad – chart po analýze shora dolů



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:

- 1 (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 $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- 2 (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 $[B \rightarrow \gamma A_\bullet \beta, i, k]$.
- 3 (terminál na vstupu) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- 4 (predikce) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha_\bullet, i, j]$, potom pro každé pravidlo $B \rightarrow A \gamma$ vstupní gramatiky vytvoř hranu $[B \rightarrow \bullet A \gamma, i, j]$.

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:

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

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:

- 1 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 2 (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 $[B \rightarrow \gamma A \bullet \beta, i, k]$.
- 3 (terminál na vstupu) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \alpha \bullet a_{j+1} \beta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \bullet \beta, i, j+1]$.
- 4 (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 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, i, j]$, 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 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, i, j]$, 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 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, i, j]$, 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 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, i, j]$, 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 $[A \rightarrow \alpha \bullet \beta \cdot \gamma, i, j]$, 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? (žadne 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? (žadne 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? (žadne 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 $[A \rightarrow \beta a_j \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_j \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- 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 $[A \rightarrow \beta a_j \bullet \gamma \bullet \delta, i, j]$, potom vytvoř hranu $[A \rightarrow \beta \bullet a_j \gamma \bullet \delta, i-1, j]$.
- 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).

Analyzátor 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).

Analyzátor řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

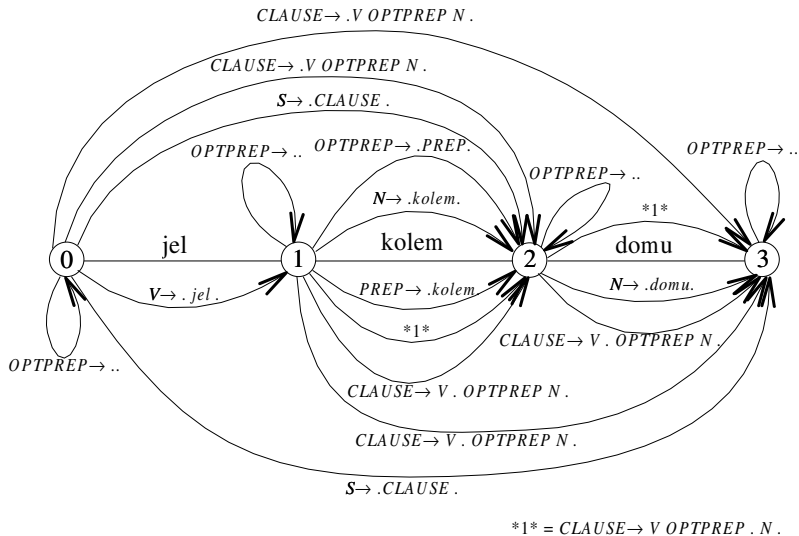
- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ 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 $[A \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet a_{j+1} \bullet \delta, i, j]$, 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).

Analyzátor řízený hlavou pravidla pokrač.

Iterace – vezmi hranu E z agendy a pak:

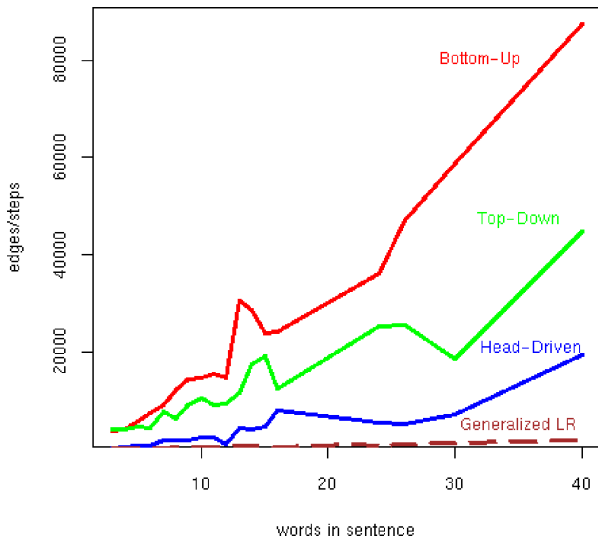
- a₁) pokud je E ve tvaru $[A \rightarrow \bullet \alpha \bullet, j, k]$, potom pro každou hranu: $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma \bullet A \delta, i, j]$ v chartu vytvoř hranu $[B \rightarrow \beta \bullet \gamma A \bullet \delta, i, k]$,
- a₂) pro $[B \rightarrow \beta A \bullet \gamma \bullet \delta, k, l]$ 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



Porovnání jednotlivých algoritmů

SliDo



Obsah

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

Syntaktická analýza s využitím strojového učení

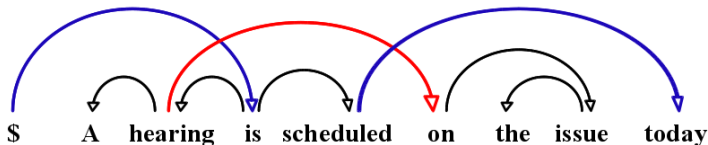
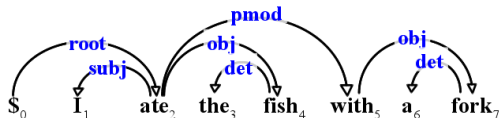
- nejčastěji pro **závislostní formalismy**
- jedna hrana pro každé slovo
- složitější pro **neprojektivní stromy**

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**

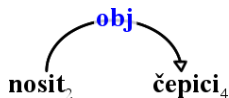


Example from "Dependency Parsing" by Kübler, Nivre, and McDonald, 2009

Hodnocení úspěšnosti

základní informace:

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



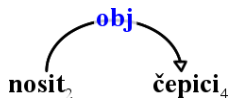
metriky (vždy procentuálně):

- **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*)



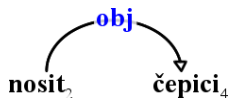
metriky (vždy procentuálně):

- **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*)



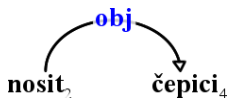
metriky (vždy procentuálně):

- **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*)



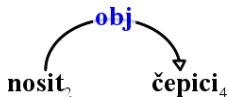
metriky (vždy procentuálně):

- **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*)



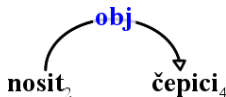
metriky (vždy procentuálně):

- **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*)



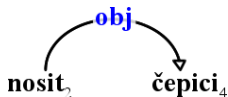
metriky (vždy procentuálně):

- **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

$$Tree^{best} = \underset{Tree \in \Phi(Sentence)}{\arg \max} \text{score}(Sentence, Tree)$$

- $Sentence = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Tree = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(Sentence)$ – množina všech možných závislostních stromů nad $Sentence$
- $score(Sentence, Tree)$ – závisí na algoritmu, např.

$$score(Sentence, Tree) = \sum_{(h,p) \in Tree} score(Sentence, h, p)$$

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Tree^{best} = \underset{Tree \in \Phi(Sentence)}{\arg \max} \text{score}(Sentence, Tree)$$

- $Sentence = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Tree = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(Sentence)$ – množina všech možných závislostních stromů nad $Sentence$
- $score(Sentence, Tree)$ – závisí na algoritmu, např.

$$score(Sentence, Tree) = \sum_{(h,p) \in Tree} score(Sentence, h, p)$$

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Tree^{best} = \underset{Tree \in \Phi(Sentence)}{\arg \max} \text{score}(Sentence, Tree)$$

- $Sentence = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Tree = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(Sentence)$ – množina všech možných závislostních stromů nad $Sentence$
- $score(Sentence, Tree)$ – závisí na algoritmu, např.

$$score(Sentence, Tree) = \sum_{(h,p) \in Tree} score(Sentence, h, p)$$

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Tree^{best} = \underset{Tree \in \Phi(Sentence)}{\arg \max} \text{score}(Sentence, Tree)$$

- $Sentence = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Tree = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(Sentence)$ – množina všech možných závislostních stromů nad $Sentence$
- $score(Sentence, Tree)$ – závisí na algoritmu, např.

$$score(Sentence, Tree) = \sum_{(h,p) \in Tree} score(Sentence, h, p)$$

Formalizace závislostní analýzy pro učení

$$Tree^{best} = \underset{Tree \in \Phi(Sentence)}{\arg \max} \text{score}(Sentence, Tree)$$

- $Sentence = x_1 x_2 \dots x_n$ – vstupní věta
- (h, p) – hrana mezi hlavou x_h a potomkem x_p
- $Tree = \{(h, p) : 0 \leq h \leq n, 0 < p \leq n\}$ – potenciální strom
- $\Phi(Sentence)$ – množina všech možných závislostních stromů nad $Sentence$
- $score(Sentence, Tree)$ – závisí na algoritmu, např.

$$score(Sentence, Tree) = \sum_{(h,p) \in Tree} score(Sentence, h, p)$$

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:

- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**, využívá zásobník *arc-standard* akce – **shift**, **leftarc_type**, **rightarc_type**
takto odpovídá shift-reduce analýze, s dalšími akcemi (**swap**, **reduce**)
zvládne i neprojektivní analýzy
např. *MaltParser* (Nivre et al, 2006)
- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu z ohodnoceného seznamu hran
grafové řešení je **přesnější** na delších větách, klade ale větší **požadavky** na vlastnosti **score()**

Způsob řešení závislostní analýzy

základní přístupy:

- **řešení pomocí přechodových akcí** (*transition-based*) – sekvence **akcí** přiřazujících závislostní **hrany**, využívá zásobník *arc-standard* akce – **shift**, **leftarc_type**, **rightarc_type**
takto odpovídá shift-reduce analýze, s dalšími akcemi (**swap**, **reduce**)
zvládne i neprojektivní analýzy
např. *MaltParser* (Nivre et al, 2006)
- **grafové řešení** (*graph-based*) – tvorba stromu z ohodnoceného seznamu hran
grafové řešení je **přesnější** na delších větách, klade ale větší **požadavky** na vlastnosti **score()**

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Závislostní analýza pomocí přechodových akcí – příklad

krok	zásobník	vstup	akce	hrana
0	[root]	[dej, Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
1	[root, dej]	[Karlovi, tu, novou, knihu]	SHIFT	
2	[root, dej, Karlovi]	[tu, novou, knihu]	RIGHTARC	(dej → Karlovi)
3	[root, dej]	[tu, novou, knihu]	SHIFT	
4	[root, dej, tu]	[novou, knihu]	SHIFT	
5	[root, dej, tu, novou]	[knihu]	SHIFT	
6	[root, dej, tu, novou, knihu]	[]	LEFTARC	(novou ← knihu)
7	[root, dej, tu, knihu]	[]	LEFTARC	(tu ← knihu)
8	[root, dej, knihu]	[]	RIGHTARC	(dej → knihu)
9	[root, dej]	[]	RIGHTARC	(root → dej)
10	[root]	[]	—	

Grafové řešení závislostní analýzy

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe **skóre** hran, jak najdeme *Tree^{best}*
 - 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

UDPipe 2 implementuje grafové řešení analýzy

Slido

Grafové řešení závislostní analýzy

2 úkoly:

- **nalezení stromu** (*search problem*)
 - známe **skóre** hran, jak najdeme *Tree^{best}*
 - 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**

UDPipe 2 implementuje grafové řešení analýzy

Slido

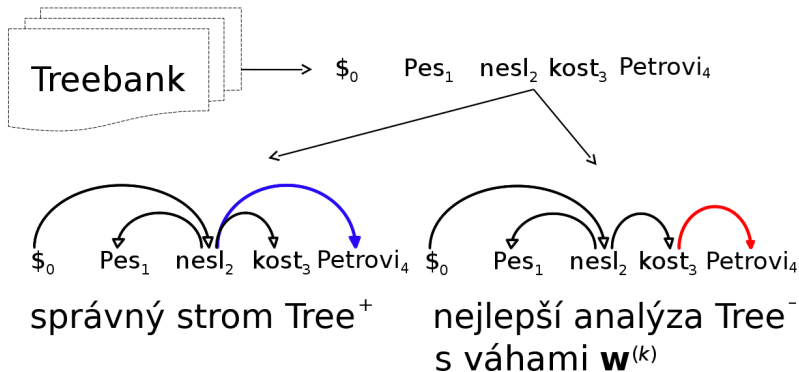
Rysy závislostních hran

* 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]

(příklad z Rush and Petrov, 2012)

Online učení skóre závislostních hran

učení vah jednotlivých rysů w 

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} + f(\text{Sentence}, \text{Tree}^+) - f(\text{Sentence}, \text{Tree}^-)$$