

Syntaktická analýza

Silné $LL(k)$ gramatiky

Šárka Vavrečková

Ústav informatiky, FPF SU Opava

`sarka.vavreckova@fpf.slu.cz`

Poslední aktualizace: 2. listopadu 2023

Definice (Silná $LL(k)$ gramatika)

Nechť G je bezkontextová gramatika. G je silná $LL(k)$ gramatika, jestliže pro jakákoliv dvě pravidla se stejnou levou stranou

- $A \rightarrow \alpha,$
- $A \rightarrow \beta,$

kde $\alpha \neq \beta$, platí

$$FIRST_k(\alpha \circ FOLLOW_k(A)) \cap FIRST_k(\beta \circ FOLLOW_k(A)) = \emptyset$$

Gramatiku, která je $LL(k)$, ale není silná $LL(k)$, nazýváme slabá $LL(k)$ gramatika.

Vlastnosti

- pro rozhodování mezi pravidly stačí nejvýše k symbolů ze vstupu,
- nemusíme kontrolovat zásobník (stačí se řídit podle jediného, vyjmutého symbolu)
- \implies mezi pravidly se dá deterministicky rozhodovat podle příslušné množiny signatur délky nejvýše k – pro pravidlo $A \rightarrow \alpha$:

$$FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))$$

Vlastnosti

- pro rozhodování mezi pravidly stačí nejvýše k symbolů ze vstupu,
- nemusíme kontrolovat zásobník (stačí se řídit podle jediného, vyjmutého symbolu)
- \implies mezi pravidly se dá deterministicky rozhodovat podle příslušné množiny signatur délky nejvýše k – pro pravidlo $A \rightarrow \alpha$:

$$FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))$$

Vlastnosti

- pro rozhodování mezi pravidly stačí nejvýše k symbolů ze vstupu,
- nemusíme kontrolovat zásobník (stačí se řídit podle jediného, vyjmutého symbolu)
- \implies mezi pravidly se dá deterministicky rozhodovat podle příslušné množiny signatur délky nejvýše k – pro pravidlo $A \rightarrow \alpha$:

$$FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))$$

Schéma rozkladové tabulky

{	N		T^k		$\$$
		A	\dots	$e(i)$	
{	T		T		
		$\#$	pop	pop	

$A \rightarrow \alpha$ je i -té pravidlo gramatiky
 $u \in \text{FIRST}_k(\alpha \cdot \text{FOLLOW}_k(A))$

Zásobník	Vstup
	Akce:
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>expect</i> • <i>pop</i> • <i>accept</i> • <i>error</i>

	k -tice symbolů ze vstupu	\$
neterminály ze zásobníku	expand(číslo pravidla)	
Podtabulka, sloupce označeny terminály a \$:		
terminály ze zásobníku	pop pop pop pop pop	
#		accept

Postup

- ověříme, zda se jedná o silnou $LL(k)$ gramatiku pro co nejmenší k ,
- pro všechna pravidla $A \rightarrow \alpha$ sestrojíme množiny

$$FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))$$

- pro každé pravidlo $A \rightarrow \alpha$ (číslo i):

$$\frac{x \in FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))}{A \quad \text{expand}(i)}$$

- doplníme *pop*, *accept*

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$

①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

$A \rightarrow Saa \mid b$

③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	$b\$\$	ba	$\$\$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
#					acc

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$

$A \rightarrow Saa \mid b$

①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	$b\$$	ba	$\$$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
#					acc

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$ ①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

$A \rightarrow Saa \mid b$ ③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

$F_2(abA \cdot FL_2(S)) = \{ab\}$

$F_2(\varepsilon \cdot FL_2(S)) = \{\$, aa\}$

$F_2(Saa \cdot FL_2(A)) = \{ab, aa\}$

$F_2(b \cdot FL_2(A)) = \{b\$, ba\}$

	ab	aa	$b\$$	ba	$\$$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
#					acc

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$ ①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

$A \rightarrow Saa \mid b$ ③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

$F_2(abA \cdot FL_2(S)) = \{ab\}$

$F_2(\varepsilon \cdot FL_2(S)) = \{\$, aa\}$

$F_2(Saa \cdot FL_2(A)) = \{ab, aa\}$

$F_2(b \cdot FL_2(A)) = \{b\$, ba\}$

	ab	aa	$b\$$	ba	$\$$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
$\#$					acc

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$

$A \rightarrow Saa \mid b$

①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	$b\$\$	ba	$\$\$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
$\#$					acc

Postup výpočtu slova $abaa$:

$(abaa\$, S\#, \varepsilon) \vdash (abaa\$, abA\#, 1) \vdash (baa\$, bA\#, 1) \vdash (aa\$, A\#, 1) \vdash (aa\$, Saa\#, 1, 3) \vdash (aa\$, aa\#, 1, 3, 2) \vdash (a\$, a\#, 1, 3, 2) \vdash (\$, \#, 1, 3, 2)$

$G = (\{S, A\}, \{a, b\}, P, S)$, množina P :

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$

①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$

$A \rightarrow Saa \mid b$

③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	$b\$\$	ba	$\$\$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
$\#$					acc

Postup výpočtu slova aba :

$(aba\$, S\#, \varepsilon) \vdash (aba\$, abA\#, 1) \vdash (ba\$, bA\#, 1) \vdash (a\$, A\#, 1) \vdash error$

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \quad FL(S) = \{\$, a\}$$

$$A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} \quad FL(A) = \{u, p, \$, a\}$$

$$B \rightarrow cBaS \mid fd$$

$$\textcircled{7}, \textcircled{8} \quad FL(B) = \{a\}$$

$$C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \quad FL(C) = \{a, \$\}$$

$$\text{FIRST}(fbACa \cdot \text{FOLLOW}(S)) \cap \text{FIRST}(BaAC \cdot \text{FOLLOW}(S)) = \{f\} \neq \emptyset$$

(není $LL(1)$)

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \quad FL(S) = \{\$, a\}$$

$$A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} \quad FL(A) = \{u, p, \$, a\}$$

$$B \rightarrow cBaS \mid fd$$

$$\textcircled{7}, \textcircled{8} \quad FL(B) = \{a\}$$

$$C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \quad FL(C) = \{a, \$\}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(S) &= \{\$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(A) &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(B) &= \{ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(C) &= \{a^S, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\} \end{aligned}$$

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$\begin{array}{ll}
 S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon & \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \quad FL(S) = \{\$, a\} \\
 A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon & \textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} \quad FL(A) = \{u, p, \$, a\} \\
 B \rightarrow cBaS \mid fd & \textcircled{7}, \textcircled{8} \quad FL(B) = \{a\} \\
 C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon & \textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \quad FL(C) = \{a, \$\}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(S) &= \{\$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(A) &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(B) &= \{ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(C) &= \{a^S, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$FS_2(S, fbACa) = \{fb\}$$

$$FS_2(S, BaAC) = \{cc, cf, fd\}$$

$$FS_2(S, \varepsilon) = \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}$$

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$\begin{array}{lll}
 S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon & \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} & FL(S) = \{\$, a\} \\
 A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon & \textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} & FL(A) = \{u, p, \$, a\} \\
 B \rightarrow cBaS \mid fd & \textcircled{7}, \textcircled{8} & FL(B) = \{a\} \\
 C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon & \textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} & FL(C) = \{a, \$\}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(S) &= \{\$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(A) &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(B) &= \{ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(C) &= \{a^S, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$FS_2(A, dA) = \{dd, dm, du, dp, d\$, da\}$$

$$FS_2(A, mA_p) = \{md, mm, mp\}$$

$$FS_2(A, \varepsilon) = \{uc, pu, pp, pa, p\$, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}$$

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \quad FL(S) = \{\$, a\}$$

$$A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} \quad FL(A) = \{u, p, \$, a\}$$

$$B \rightarrow cBaS \mid fd$$

$$\textcircled{7}, \textcircled{8} \quad FL(B) = \{a\}$$

$$C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon$$

$$\textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \quad FL(C) = \{a, \$\}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(S) &= \{\$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(A) &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(B) &= \{ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FOLLOW_2(C) &= \{a^S, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\ &= \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\} \end{aligned}$$

$$FS_2(B, cBaS) = \{cc, df\}$$

$$FS_2(B, fd) = \{fd\}$$

Vztah mezi silnými $LL(k)$ pro různá k

$$\begin{array}{ll}
 S \rightarrow fbACa \mid BaAC \mid \varepsilon & \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \quad FL(S) = \{\$, a\} \\
 A \rightarrow dA \mid mA_p \mid \varepsilon & \textcircled{4}, \textcircled{5}, \textcircled{6} \quad FL(A) = \{u, p, \$, a\} \\
 B \rightarrow cBaS \mid fd & \textcircled{7}, \textcircled{8} \quad FL(B) = \{a\} \\
 C \rightarrow uc \mid pC \mid \varepsilon & \textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \quad FL(C) = \{a, \$\}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(S) &= \{\$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{\$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(A) &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{uc, pu, pp, pa, p^A, \$, ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(B) &= \{ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{ad, am, au, ap, a\$, aa, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FOLLOW_2(C) &= \{a^S, \$, ad, am, au, ap, a^S, af, ac, a^B\} = \\
 &= \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\}
 \end{aligned}$$

$$FS_2(C, uc) = \{uc\}$$

$$FS_2(C, pC) = \{pu, pp, pa, p\$\}$$

$$FS_2(C, \varepsilon) = \{a\$, aa, \$, ad, am, au, ap, af, ac\}$$

Silná $LL(2)$:

	fb	cc	cf	fd	$\$$	ad	am	au	ap	$a\$$	aa	af	ac
S	e1	e2	e2	e2	e3	e3	e3	e3	e3	e3	e3	e3	e3
A					e6	e6	e6	e6	e6	e6	e6	e6	e6
B		e7	e7	e8									
C					e11	e11	e11	e11	e11	e11	e11	e11	e11

	dd	dm	du	dp	$d\$$	da	md	mm	mp	uc	pu	pp	pa	$p\$$
S														
A	e4	e4	e4	e4	e4	e4	e5	e5	e5	e6	e6	e6	e6	e6
B														
C										e9	e10	e10	e10	e10

 $LL(1)$ tabulka:

	a	b	c	d	f	m	p	u	$\$$
S	e3		e2		e1, e2				e3
A	e6			e4		e5	e6	e6	e6
B			e7		e8				
C	e11						e10	e9	e11

Popis metody

Potřebujeme

- rozkladovou tabulku a zásobník na ukládání symbolů,
- k proměnných pro symboly ze vstupu (např. pole),
- funkci `lex()`, která nám vrátí další symbol, který extrahovala ze vstupního souboru:
 - dosud načtené vstupní symboly posune o jeden doleva ($sym[i - 1] := sym[i]$), nově načtený symbol uloží na konec pole (k -tý prvek),
 - jestliže je na konci souboru, zařadí $\$$ a dále provádí pouze posun,
 - při prvním volání se načítá všech k vstupních symbolů,
- proměnnou pro výstup.

Postup

Rozdíl oproti analýze pro $k = 1$

Postup je stejný jako u $LL(1)$ gramatik, jen

- složitější funkce $lex()$, musí provádět posuny symbolů,
- složitější funkce $Akce()$ – při rozhodování mezi sloupci musí brát v úvahu k -tice místo jediného symbolu.

Proměnné a inicializace

```
const int KSYM 2; // resp. podle hodnoty k
TSymbol symboly[KSYM];
int s_prvni, s_posledni;
TTypSymbolu vrchol_zas;
...

void Init() {
    ...
    s_prvni = 0;
    s_posledni = 0;
    Lex(); // načte symbol na index s_posledni
    if (s_posledni != S_ENDOFFILE) {
        s_posledni++;
        Lex(); // načte druhý symbol na index s_posledni
    }
    // předchozí čtyři řádky celkem (k-1)-krát, příp. cyklus for
    ...
}
```


Metoda přepisu rozkladové tabulky

```
void pop() {
    if (symboly[s_prvni] == vrchol_zas) {
        if (symboly[s_posledni] != S_ENDOFFILE) {
            s_prvni++;
            if (s_prvni >= k) s_prvni = 0;
            s_posledni++;
            if (s_posledni >= k) s_posledni = 0;
            Lex();
        }
    }
    else {
        s_prvni++;
        if (s_prvni >= k)
            s_prvni = 0;
    };
    else error(...);
}
```

Expanze podle pravidla

```

int expand(int cislo_prav) {
    switch (cislo_prav) {
        case 1:                // S → abA
            Pridej_do_zasobniku(S_NA);
            Pridej_do_zasobniku(S_b);
            Pridej_do_zasobniku(S_a);
            break;
        case 2:                // S → ε
            break;
        case 3:                // A → Saa
            Pridej_do_zasobniku(S_a);
            Pridej_do_zasobniku(S_a);
            Pridej_do_zasobniku(S_NS);
            break;
        ... // pro každé pravidlo gramatiky
    };
    vystup(cislo_prav);        // zápis čísla použitého pravidla na výstup
}

```

Metoda přepisu rozkladové tabulky

```
void Akce() {
    vrchol_zas = Vyjmi_ze_zasobniku();
    switch (vrchol_zas) {
        ...
        case S_NA: switch (symbols[s_prvni].typ) {
            case u: if (symbols[s_prvni+1].typ == v) expand(n);
                    else ...; break; // další řetězec začínající symbolem u nebo chyba
            case x: if (symbols[s_prvni+1].typ == y) expand(m);
                    else ...; break; // další řetězec začínající symbolem x nebo chyba
            ... // další buňka v řádku A
            default: error(...);
        }
        ... // další řádky tabulky
        case S_HASH: if (symbols[s_prvni].typ == S_ENDOFFILE) accept();
                    else error(...); break;
        case S_ID: case S_NUM: case S_PLUS: pop(); break;
        default: error(...);
    }
}
```

	...	uv	xy	...
...		
A		$e(n)$	$e(m)$	
...				

Podle příkladu:

$$S \rightarrow abA \mid \varepsilon \quad \textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ FOLLOW}_2(S) = \{\$, aa\}$$

$$A \rightarrow Saa \mid b \quad \textcircled{3}, \textcircled{4} \text{ FOLLOW}_2(A) = \{\$, aa\}$$

	ab	aa	$b\$$	ba	$\$$
S	$e(1)$	$e(2)$			$e(2)$
A	$e(3)$	$e(3)$	$e(4)$	$e(4)$	
$\#$					acc

```
void Akce() {
    vrchol_zas = Vyjmi_ze_zasobniku();
    switch (vrchol_zas) {
        case S_NS: switch (symboly[s_prvni].typ) {
            case S_a: switch (symboly[s_prvni+1].typ) {
                case S_b: expand(1); break;
                case S_a: expand(2); break;
                default: chyba("Očekáván .....");
            } break;
            case S_ENDOFFILE: expand(2); break;
            default: chyba("Očekáván .....");
        }
        case S_NA: ...
        case S_a: case S_b: pop(); break;
        case S_HASH: if (symboly[s_prvni].typ == S_ENDOFFILE) accept else error(...);
    }
}
```

Popis metody

Potřebujeme

- silnou $LL(k)$ gramatiku (nemusíme dělat rozkladovou tabulku),
- pro každé pravidlo $A \rightarrow \alpha$ vytvoříme „množinu signatur“

$$FS(A, \alpha) = FIRST_k(\alpha \cdot FOLLOW_k(A))$$

- k proměnných, ve kterých jsou uloženy symboly načtené ze vstupu (příp. řetězec o délce k),
- funkci `lex()` upravenou stejně jako u předchozí metody,
- proměnnou pro výstup (soubor, dynamická struktura apod.).

Postup

Rozdíl oproti analýze pro $k = 1$

Postup je stejný jako u $LL(1)$ gramatik, jen

- složitější funkce $lex()$, musí provádět posuny symbolů,
- složitější funkce pro jednotlivé neterminály – při rozhodování používáme množiny FS , jejichž prvky jsou k -tice místo jednotlivých symbolů.

Metoda rekurzivního sestupu

```
void pop(TTypSymbolu term) {
    if (symboly[s_prvni].typ == term) {
        if (symboly[s_posledni] != S_ENDOFFILE) {
            s_prvni++;
            if (s_prvni >= k) s_prvni = 0;
            s_posledni++;
            if (s_posledni >= k) s_posledni = 0;
            Lex();
        }
    }
    else {
        s_prvni++;
        if (s_prvni >= k) s_prvni = 0;
    }
    else error(...);
}
```

Metoda rekurzivního sestupu

```
void A() {
  switch (symbols[s_prvni].typ) {
    case u: if (symbols[s_prvni+1].typ == v) {
      ... // zpracování pravidla číslo n
    } else ... // další řetězec začínající symbolem u nebo chyba
    case x: if (symbols[s_prvni+1].typ == y) {
      ... // zpracování pravidla číslo m
    } end else ... // další řetězec začínající symbolem x nebo chyba
    ... // další buňka v řádku A
  default: error(...);
  }
}
```

	...	uv	xy	...
...		
A		$e(n)$	$e(m)$	
...				

Podle příkladu:

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$ ①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$
 $A \rightarrow Saa \mid b$ ③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	b\$	ba	\$
S	e(1)	e(2)			e(2)
A	e(3)	e(3)	e(4)	e(4)	
#					acc

```

void S() {
    switch (symboly[s_prvni].typ) {
        case S_a: switch (symboly[s_prvni+1].typ) {
            case S_b:
                pop(S_a);
                pop(S_b);
                A();
                break;
            case S_a: break;
            default: error(...);
        }
        case S_ENDOFFILE: break;
        default: error(...);
    }
}

```

Podle příkladu:

$S \rightarrow abA \mid \varepsilon$ ①,② $FOLLOW_2(S) = \{\$, aa\}$
 $A \rightarrow Saa \mid b$ ③,④ $FOLLOW_2(A) = \{\$, aa\}$

	ab	aa	$b\$\$	ba	$\$\$
S	$e(1)$	$e(2)$			$e(2)$
A	$e(3)$	$e(3)$	$e(4)$	$e(4)$	
$\#$					acc

```

void A() {
    switch (symboly[s_prvni].typ) {
        case S_a: if (symboly[s_prvni+1].typ == S_b || symboly[s_prvni+1].typ == S_a) {
            S();
            pop(S_a);
            pop(S_a);
            break;
            default: error(...);
        case S_b: if (symboly[s_prvni+1].typ == S_ENDOFFILE || symboly[s_prvni+1].typ == S_a) {
            pop(S_b); break;
        }
        default: error(...);
    } error(...);
}
}

```