AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Parsery LALR(1)

Teoria kompilacji

Dr inż. Janusz Majewski
Katedra Informatyki

Gramatyki LALR(k) (Look Ahead LR(k))

Duża klasa gramatyk mających praktyczne zastosowanie nie należy do SLR(1), ale dla tych gramatyk daje się skonstruować parser o rozmiarze tablicy sterującej (funkcja ”f” i ”g”) identycznym z SLR(1), tyle że przy pomocy trochę bardziej skomplikowanego algorytmu. Klasa ta nazywa się LALR(1) i z praktycznego punktu widzenia jest najważniejszą podklasą LR(1), gdyż:

1) Jest dostatecznie szeroka, żeby objąć znaczną większość języków programowania.

2) Rozmiar tablicy sterującej parsera jest jeszcze do przyjęcia (w odróżnieniu od kanonicznego LR(1)).

Jądro zbioru LR(1)-sytuacji

CORE – jądro zbioru LR(1) – sytuacji

$\mathcal{A}$ - zbiór LR(1) – sytuacji

$CORE(\mathcal{A}) = \{ [A \to \alpha \bullet \beta] \mid [A \to \alpha \bullet \beta, u] \in \mathcal{A} \}$

Twierdzenie

$\mathcal{J}_0$ – kanoniczny system zbiorów LR(0) – sytuacji w G

$\mathcal{J}_1$ – kanoniczny system zbiorów LR(1) – sytuacji w G

$$\mathcal{J}_0 = \{ CORE(\mathcal{A}) : \mathcal{A} \in \mathcal{J}_1 \}$$

CORE(GOTO(…))

Twierdzenie

$$CORE(GOTO_1(\mathcal{A}, x)) = GOTO_0(CORE(\mathcal{A}), x)$$

$$x \in (V \cup \Sigma)$$

gdzie:

$GOTO_1$ – funkcja *GOTO* dla zbioru LR(1)-sytuacji

$GOTO_0$ – funkcja *GOTO* dla zbioru LR(0)-sytuacji

$\mathcal{e}$– relacja równości jąder

$$\mathcal{e} \subset \mathcal{J}_1 \times \mathcal{J}_1 : \mathcal{A}_1 \, \mathcal{e} \, \mathcal{A}_2 \overset{!}{\Leftrightarrow} CORE(\mathcal{A}_1) = CORE(\mathcal{A}_2)$$

Gramatyka LALR(1)

$G = \langle V, \Sigma, P, S \rangle \in \mathcal{G}_{BK}$

$\mathcal{J}_1$ – kanoniczny system zbiorów LR(1) – sytuacji dla G

$\mathcal{J} = \{ \mathcal{B}([\mathcal{A}]_{\mathcal{e}}) : \mathcal{A} \in \mathcal{J}_1 \};$

gdzie:

$$\mathcal{B}([\mathcal{A}]_{\mathcal{e}}) = \bigcup_{C \in [\mathcal{A}]_{\mathcal{e}}} \quad (C \in \mathcal{J}_1)$$

G – gramatyka LALR(1) $\Leftrightarrow (\forall \mathcal{B} \in \mathcal{J})$ ($\mathcal{B}$ - zgodny)

Przykład (łączenie zbiorów LR(1)-sytuacji)

$\mathcal{J}_1 = \{ \mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \mathcal{A}_3, \mathcal{A}_4, \mathcal{A}_5, \mathcal{A}_6 \}$

$\mathcal{e} = \{ (\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_1), (\mathcal{A}_2, \mathcal{A}_2), (\mathcal{A}_3, \mathcal{A}_3), (\mathcal{A}_4, \mathcal{A}_4), (\mathcal{A}_2, \mathcal{A}_3),$
$(\mathcal{A}_3, \mathcal{A}_2), (\mathcal{A}_2, \mathcal{A}_4), (\mathcal{A}_4, \mathcal{A}_2), (\mathcal{A}_3, \mathcal{A}_4), (\mathcal{A}_4, \mathcal{A}_3),$
$(\mathcal{A}_5, \mathcal{A}_5), (\mathcal{A}_6, \mathcal{A}_5), (\mathcal{A}_5, \mathcal{A}_6), (\mathcal{A}_6, \mathcal{A}_6) \}$

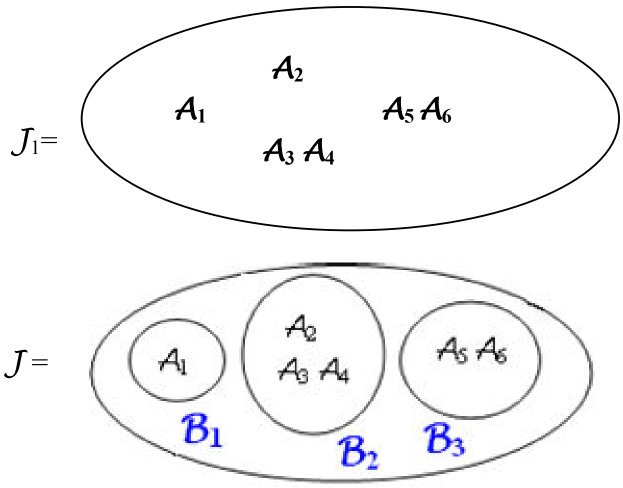
$\mathcal{B}_1 = \mathcal{A}_1$

$\mathcal{B}_2 = \mathcal{A}_2 \cup \mathcal{A}_3 \cup \mathcal{A}_4$

$\mathcal{B}_3 = \mathcal{A}_5 \cup \mathcal{A}_6$

$\mathcal{J} = \{\mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \mathcal{B}_3\}$

Przykład c.d.



Konstrukcja tablicy parsera LALR(1)

WEJŚCIE: $G = \langle V, T, P, S\rangle \in \mathcal{G}_{BK}$

WYJŚCIE: Tablica LALR(1)

ALGORYTM:

1. Wyznaczamy $\mathcal{J}_1$ – kanoniczny system zbiorów LR(1)-sytuacji dopuszczalnych
2. Konstruujemy zbiór klas abstrakcji dla relacji $\mathcal{e}$:

   $\mathcal{J} := \{\ \mathcal{B}([\mathcal{A}]_{\mathcal{e}}) : \mathcal{A} \in \mathcal{J}_1\ \}$;

   /* $\mathcal{J} = \{\ \mathcal{B}_0, \mathcal{B}_1, \ldots, \mathcal{B}_n\ \}$

   gdzie $\mathcal{B}_i = \mathcal{A}_{(i1)} \cup \mathcal{A}_{(i2)} \cup \ldots \cup \mathcal{A}_{(i\ mi)}$

   $i = 0, 1, \ldots, n$

   $[\mathcal{A}_{(i1)}]_{\mathcal{e}} = [\mathcal{A}_{(i2)}]_{\mathcal{e}} = \ldots = [\mathcal{A}_{(i\ mi)}]_{\mathcal{e}}$ */
3. Określamy funkcje f i g dla $\mathcal{J} = \{\ \mathcal{B}_0, \mathcal{B}_1, \ldots, \mathcal{B}_n\ \}$ identycznie, jak to miało miejsce w przypadku kanonicznego LR(1);

Przykład

$G' = \langle V' = \{ S', S, L, R \}, T = \{ =, *, \underline{id} \}, P', S' \rangle$

$P' = \{$

(0) $S' \to S$

(1) $S \to L = R$

(2) $S \to R$

(3) $L \to *R$

(4) $L \to \underline{id}$

(5) $R \to L$

$\}$

$FIRST_1(S) = \{*, \underline{id}\}$ $FOLLOW_1(S) = \{\$\}$

$FIRST_1(L) = \{*, \underline{id}\}$ $FOLLOW_1(L) = \{\$, =\}$

$FIRST_1(R) = \{*, \underline{id}\}$ $FOLLOW_1(R) = \{\$, =\}$

Przykład

Sprawdzenie czy poniższa gramatyka G' jest SLR(1)?

Próbujemy skonstruować $\mathcal{J}_0$ – kanoniczny system LR(0) – sytuacji

$$
\begin{aligned}
\mathcal{A}_0 = \{ \quad & [\, S' \to \bullet S \,], \\
& [\, S \to \bullet L = R \,], \\
& [\, S \to \bullet R \,], \\
& [\, L \to \bullet *R \,], \\
& [\, L \to \bullet \underline{id} \,], \\
& [\, R \to \bullet L \,] \\
\}
\end{aligned}
$$

$\mathcal{A}_1 = GOTO(\mathcal{A}_0, S) = \{ [\, S' \to S\bullet \,] \}$

$$
\begin{aligned}
\mathcal{A}_2 = GOTO(\mathcal{A}_0, L) = \{ & [\, S \to L\bullet = R \,], \\
& [\, R \to L\bullet] \\
\}
\end{aligned}
$$

Przykład

$\mathcal{A}_2 = GOTO(\mathcal{A}_0, L) = \{ [\, S \to L \bullet = R] \,,$
$[\, R \to L \bullet]$
$\}$

Ponieważ:

$FOLLOW_1(R) = \{\$, =\}$

Więc:

$f(T_2, =) = \underline{red\text{–}5}$
$f(T_2, =) = \underline{shift}$ — konflikt!

gramatyka nie jest SLR(1)!

Przykład

Konstruujemy $\mathcal{J}_1$ – kanoniczny system zbiorów LR(1)–sytuacji.

$\mathcal{A}_0 = \{ \; [\, S' \to \bullet S, \$ \,],$
$[\, S \to \bullet L{=}R, \$ \,],$
$[\, S \to \bullet R, \$ \,],$
$[\, L \to \bullet {*}R, \$|{=} \,],$
$[\, L \to \bullet \underline{id}, \$|{=} \,],$
$[\, R \to \bullet L, \$ \,]\}$

$\mathcal{A}_1 = \{ [S' \to S\bullet, \$] \}$ $\qquad \mathcal{A}_1 = GOTO(\mathcal{A}_0, S)$

$\mathcal{A}_2 = \{ [S \to L\bullet{=}R, \$] \}$ $\qquad \mathcal{A}_2 = GOTO(\mathcal{A}_0, L)$

$[R \to L\bullet, \$] \}$

Przykład

$A_3 = \{ [S \to R\bullet,\ \$] \}$

$A_4 = \{ [L \to *\bullet R,\ \$|=]$,
$[R \to \bullet L,\ \$|=]$,
$[L \to \bullet *R,\ \$|=]$,
$[L \to \bullet \underline{id},\ \$|=]\}$

$A_5 = \{ [L \to \underline{id}\bullet,\ \$|=] \}$

$A_6 = \{ [S \to L=\bullet R,\ \$]$,
$[R \to \bullet L,\ \$]$,
$[L \to \bullet *R,\ \$]$,
$[L \to \bullet \underline{id},\ \$] \}$

$A_3 = GOTO(A_0,\ R)$

$A_4 = GOTO(A_0,\ *)$

$A_5 = GOTO(A_0,\ \underline{id})$

$A_6 = GOTO(A_2,\ =)$

Przykład

$A_7 = \{ [L \to *R\bullet,\ \$|=] \}$

$A_8 = \{ [R \to L\bullet,\ \$|=] \}$

$A_9=\{[S \to L=R\bullet,\ \$]\}$

$A_{10} = \{[L \to *\bullet R,\ \$]$,
$[R \to \bullet L,\ \$]$,
$[L \to \bullet *R,\ \$]$,
$[L \to \bullet \underline{id},\ \$]\}$

$A_7 = GOTO(A_4,\ R)$

$A_8 = GOTO(A_4,\ L)$

$A_4 = GOTO(A_4,\ *)$

$A_5 = GOTO(A_4,\ \underline{id})$

$A_9=GOTO(A_6,R)$

$A_{10}=GOTO(A_6,*)$

Przykład

$\mathcal{A}_{11}=\{[L\rightarrow \underline{id}\bullet,\ \$]\}$

$\mathcal{A}_{12}=\{[R\rightarrow L\bullet,\ \$]\}$

$\mathcal{A}_{13}=\{[L\rightarrow *R\bullet,\ \$]\}$

$\mathcal{A}_{11}=GOTO(\mathcal{A}_{6},\ \underline{id})$

$\mathcal{A}_{12}=GOTO(\mathcal{A}_{6},L)$

$\mathcal{A}_{13}=GOTO(\mathcal{A}_{10},R)$

$\mathcal{A}_{12}=GOTO(\mathcal{A}_{10},L)$

$\mathcal{A}_{10}=GOTO(\mathcal{A}_{10},*)$

$\mathcal{A}_{11}=GOTO(\mathcal{A}_{10},\underline{id})$

Przykład

$\mathcal{B}_1=\mathcal{A}_1$	$\mathcal{B}_1=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_0,S)$
$\mathcal{B}_2=\mathcal{A}_2$	$\mathcal{B}_2=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_0,L)$
$\mathcal{B}_3=\mathcal{A}$	$\mathcal{B}_3=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_0,R)$
$\underline{\mathcal{B}_4=\mathcal{A}_4\cup\mathcal{A}_{10}}$	$\mathcal{B}_4=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_0,*)$
$\underline{\mathcal{B}_5=\mathcal{A}_5\cup\mathcal{A}_{11}}$	$\mathcal{B}_5=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_0,\underline{id})$
$\mathcal{B}_6=\mathcal{A}_6$	$\mathcal{B}_6=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_2,=)$
$\underline{\mathcal{B}_7=\mathcal{A}_7\cup\mathcal{A}_{13}}$	$\mathcal{B}_7=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_4,R)$
$\underline{\mathcal{B}_8=\mathcal{A}_8\cup\mathcal{A}_{12}}$	$\mathcal{B}_8=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_4,L)$
	$\mathcal{B}_4=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_4,*)$
	$\mathcal{B}_5=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_4,\underline{id})$
$\mathcal{B}_9=\mathcal{A}_9$	$\mathcal{B}_9=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_6,R)$
	$\mathcal{B}_4=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_6,*)$
	$\mathcal{B}_5=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_6,\underline{id})$
	$\mathcal{B}_8=\mathrm{GOTO}(\mathcal{B}_6,L)$

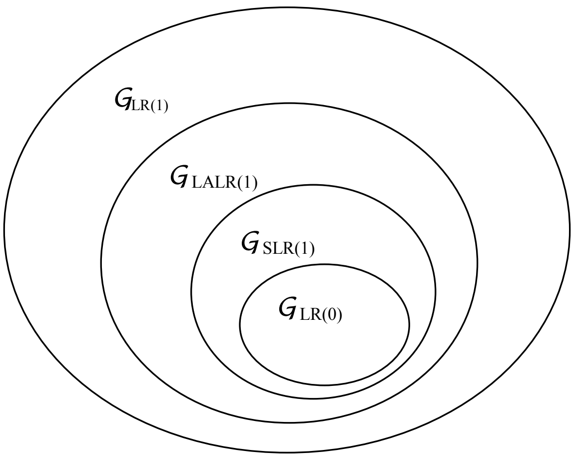
Przykład

TABLICA LALR(1)

stan	f				g		
	$	=	*	id	S	L	R
T_0			shift4	shift5	T_1	T_2	T_3
T_1	acc						
T_2	red-5	shift6					
T_3	red-2						
T_4			shift4	shift5		T_8	T_7
T_5	red-4	red-4					
T_6			shift4	shift5		T_8	T_9
T_7	red-3	red-3					
T_8	red-5	red-5					
T_9	red-1						

(Kanoniczny LR(1) ma o 4 stany więcej)

Zależności pomiędzy klasami gramatyk



Każda gramatyka LR(0) jest gramatyką SLR(1).
Każda gramatyka SLR(1) jest gramatyką LALR(1).
Każda gramatyka LALR(1) jest gramatyką LR(1).

$G_{LR(0)} \subset G_{SLR(1)} \subset G_{LALR(1)} \subset G_{LR(1)}$

$G_{LR(0)} \neq G_{SLR(1)} \neq G_{LALR(1)} \neq G_{LR(1)}$

Języki bezkontekstowe zdeterminowane a języki LR

Język bezkontekstowy nazywamy zdeterminowanym, gdy jest on akceptowany przez deterministyczny automat ze stosem.

$$L_{\text{BK DET}} = L_{\text{LR(1)}}$$

Każdy język bezkontekstowy zdeterminowany ma swoją gramatykę LR(1).

Każdy język bezkontekstowy zdeterminowany posiadający własność przedrostkową ma swoją gramatykę LR(0).

Języki LL a języki LR

$$L_{\text{LL(K)}} \subset L_{\text{LR(K)}}$$

$$L_{\text{LL(K)}} \neq L_{\text{LR(K)}}$$

Każda gramatyka LL(k) jest gramatyką LR(k). Istnieją języki LR(k), które nie są generowane przez żadną gramatykę LL(k).

Języki LL(0) są jednoelementowe.

Podklasy języków bezkontekstowych