



Tema 6

Análisis semántico



- 6.1 Características del análisis semántico
- 6.2 Gramáticas atribuidas
- 6.3 Especificación de un traductor
- 6.4 Traductores descendentes
- 6.5 Traductores ascendentes
- 6.6 Estructuras básicas



Objetivos:

- Verificar la semántica de la cadena de entrada:
 - Verificar que las variables han sido declaradas previamente
 - Comprobación de tipos en las expresiones
 - Comprobación de los parámetros de una función
 - Elección de la función u operador en caso de sobrecarga o polimorfismo
- Emitir informes de errores semánticos
- Construir el Árbol de Sintaxis Abstracta



Principio de la traducción dirigida por la sintaxis:

- El significado (semántica) de una frase está directamente relacionado con su estructura sintáctica

Especificación semántica

- Se inserta en la especificación sintáctica
- Se amplían las gramáticas libres de contexto:
 - Se asocia información a los símbolos (atributos)
 - Se asocian acciones semánticas (código) a las producciones

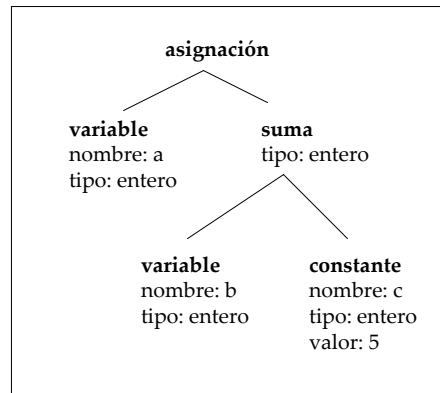
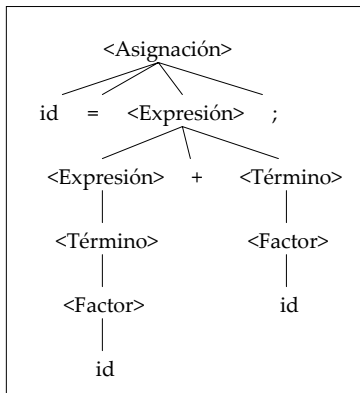


Árbol de Sintaxis Abstracta

- Recoge toda la información sintáctica y semántica
- Elimina los símbolos que no aportan significado
- Los nodos reflejan los datos asociados a cada símbolo
- El objetivo de las acciones semánticas es construir este árbol



Ejemplo: $a = b + c ;$





Atributos:

- Elementos de los símbolos del lenguaje que almacenan información semántica:
 - Tipo de datos
 - Referencia a las variables
 - Etc.

Reglas semánticas

- Expresiones que permiten calcular el valor de los atributos



Tipos de atributos:

- Atributos sintetizados:
 - Aquellos cuyo valor se calcula a partir de la información de los nodos hijos.
 - Representan un flujo de información ascendente en el árbol
 - Ej.: $\langle A \rangle \rightarrow \langle B \rangle \langle C \rangle \langle D \rangle \{ A.a = B.b + C.c + D.d \}$
- Atributos heredados:
 - Aquellos cuyo valor se calcula a partir de la información del nodo padre o de los hermanos
 - Representan un flujo de información descendente
 - Ej.: $\langle A \rangle \rightarrow \langle B \rangle \langle C \rangle \langle D \rangle \{ C.c = A.a + B.b \}$



- Los atributos sintetizados de un símbolo representan una información que se calcula después de reconocer sintácticamente ese símbolo
- Los atributos heredados de un símbolo representan una información que es necesario conocer antes de reconocer sintácticamente el símbolo
- Generalmente se considera que los atributos de los tokens (símbolos terminales) son siempre sintetizados. Estos atributos son los generados por el analizador léxico.



Ejemplo (declaración de variables en C):

Atributos	Estructura
D.s, L.s, Lp.s	struct L { int tipo; string nombre, struct L* sig}
T.s, L.h, Lp.h	int

Producción	Regla semántica asociada
$\langle D \rangle \rightarrow \langle T \rangle \langle L \rangle \text{ pyc}$	{ L.h = T.s; D.s = L.s }
$\langle T \rangle \rightarrow \text{float}$	{ T.s = REAL }
$\langle T \rangle \rightarrow \text{int}$	{ T.s = ENTERO }
$\langle L \rangle \rightarrow \text{id} \langle L_p \rangle$	{ Lp.h = L.h; L.s.tipo = L.h; L.s.nombre = id.lexema; L.s.sig = Lp.s }
$\langle L_p \rangle \rightarrow \text{coma id} \langle L_{p_1} \rangle$	{ Lp ₁ .h = Lp.h; Lp.s.tipo = Lp.h; Lp.s.nombre = id.lexema; Lp.s.sig = Lp ₁ .s }
$\langle L_p \rangle \rightarrow \lambda$	{ Lp.s = null }



Existen dos notaciones para diseñar un traductor:

- Definiciones dirigidas por la sintaxis (DDS)
- Esquemas de traducción dirigidos por la sintaxis (ETDS)



Definiciones dirigidas por la sintaxis (DDS):

- Formalismo de alto nivel
- Se asocia una regla semántica a cada regla de producción
- No impone un orden en la ejecución de las reglas semánticas
- Son una extensión de las gramáticas atribuidas en las que las reglas semánticas pueden incluir acciones que no se refieran al cálculo de un atributo
- Los atributos en juego pueden ser los atributos sintetizados del símbolo de la izquierda o los atributos heredados de los símbolos de la derecha



Gramáticas con atributos por la izquierda

- Son un subconjunto de las gramáticas con atributos
- Los atributos heredados se calculan exclusivamente a partir de los símbolos a la izquierda del atributo
- Cualquier información heredada está disponible en el momento de ejecutar la reglas de producción correspondiente
- Los flujos de información en el árbol de sintaxis abstracta se producen de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. Nunca de derecha a izquierda
- Permiten definir traductores de una sola pasada



Esquemas de traducción dirigidos por la sintaxis (ETDS)

- Son un formalismo para construir traductores de una sola pasada
- Emplean gramáticas con atributos por la izquierda
- Incluyen acciones semánticas encerradas entre llaves ({ ... }) en cualquier punto de las reglas de producción
- Las acciones semánticas incluyen fragmentos de código en un lenguaje de programación
- Las acciones semánticas pueden incluir instrucciones que no se refieran al cálculo de atributos



Desarrollo de un ETDS basado en análisis descendente

- Los atributos sintetizados de cada símbolo S se almacenan en la estructura de datos (objeto) que devuelve la función asociada al símbolo S
- Los atributos heredados de cada símbolo S se describen como parámetros de la función asociada al símbolo S
- Las acciones semánticas incluidas en las reglas de producción de un símbolo S se añaden directamente al código de la función asociada al símbolo S



Ejemplo de un ETDS basado en análisis descendente

- Reglas de producción
 - $\langle D \rangle \rightarrow \langle T \rangle \langle L \rangle$ pyc
 - $\langle T \rangle \rightarrow$ float
 - $\langle T \rangle \rightarrow$ int
 - $\langle L \rangle \rightarrow$ id $\langle L_p \rangle$
 - $\langle L_p \rangle \rightarrow$ coma id $\langle L_{p1} \rangle$
 - $\langle L_p \rangle \rightarrow \lambda$
- Atributos
 - clase L { int tipo; String id; L siguiente; }
 - T.s (int) (sintetizado), L.h (int) (heredado), Lp.h (int heredado)
 - D.s (L) (sintetizado), L.s (L) (sintetizado), Lp.s (L) (sintetizado)



Ejemplo de un ETDS basado en análisis descendente

- Gramática atribuida
 - $\langle D \rangle \rightarrow \langle T \rangle \{ L.h = T.s \} \langle L \rangle \text{pyc} \{ D.s = L.s \}$
 - $\langle T \rangle \rightarrow \text{float} \{ T.s = REAL \}$
 - $\langle T \rangle \rightarrow \text{int} \{ T.s = ENTERO \}$
 - $\langle L \rangle \rightarrow \{ L.s = \text{new } L(); \} \text{id} \{ L.s.id = id; L.s.tipo = L.h; L.p.h = L.h \}$
 $\langle Lp \rangle \{ L.s.siguiente = Lp.s \}$
 - $\langle Lp \rangle \rightarrow \{ Lp.s = \text{new } L(); \} \text{coma id} \{ Lp.s.id = id; Lp.s.tipo = Lp.h; Lp_1.h = Lp.h \}$
 $\langle Lp_1 \rangle \{ Lp.s.siguiente = Lp_1.s \}$
 - $\langle Lp \rangle \rightarrow \lambda \{ Lp.s = \text{null} \}$



Ejemplo de un ETDS basado en análisis descendente

- Función asociada a $\langle D \rangle$

```
L parseD() {  
  L D_s;  
  switch(nextToken.getKind()){  
    case FLOAT:  
    case INT:  
      int T_s = parseT(); // las funciones devuelven objetos  
      L L_s = parseL( T_s ); // los atributos heredados  
      match(PYC); // se pasan como argumentos  
      D_s = L_s;  
      break;  
    default: error();  
  }  
  return D_s;  
}
```



- Función asociada a <T>

```
int parseT() {
    int T_s;
    switch(nextToken.getKind()) {
        case FLOAT:
            match(FLOAT);
            T_s = REAL;
            break;
        case INT:
            match(INT);
            T_s = ENTERO;
            break;
        default: error();
    }
    return T_s;
}
```



- Función asociada a <L>

```
L parseL(int h) {
    L L_s = new L();
    switch(nextToken.getKind()) {
        case ID:
            Token tk = match(ID); // El analizador léxico devuelve objetos
            L_s.tipo = h; L_s.id = tk.lexema;
            L Lp_s = parseLp(tipo);
            L_s.siguiete = Lp_s;
            break;
        default: error();
    }
    return L_s;
}
```



- Función asociada a <Lp>

```
L parseLp(int h) {
    L Lp_s;
    switch(nextToken.getKind()) {
        case COMA: Lp_s = new L();
                    match(COMA);
                    Token tk = match(ID);
                    Lp_s.tipo = h; Lp_s.id = tk.lexema;
                    L Lp1_s = parseLp(h);
                    Lp_s.siguiete = Lp1_s;
                    break;
        case PYC: Lp_s = null; break;
        default: error();
    }
    return Lp_s;
}
```



Desarrollo de un ETDS basado en análisis ascendente

- A cada estado de la tabla se le puede asociar un símbolo (terminal o no terminal) que corresponde al símbolo que provoca la transición a ese estado.
- Los atributos sintetizados de cada símbolo S se almacenan en una estructura de datos (objeto)
- Se utiliza una pila de atributos, paralela a la pila de estados, para almacenar estas estructuras
- Las acciones semánticas situadas al final de una regla se ejecutan al reducir la regla



Desarrollo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Las acciones semánticas situadas en puntos intermedios se sustituyen por símbolos ficticios (marcadores) a los que se asocia una regla de producción λ seguida de la acción semántica
- Conocida la longitud de una regla, se puede saber la posición de cada estructura de datos tomando como base la cima de la pila
- Los atributos heredados de un símbolo no se pueden tratar directamente, sino que se introducen como atributos sintetizados del símbolo anterior



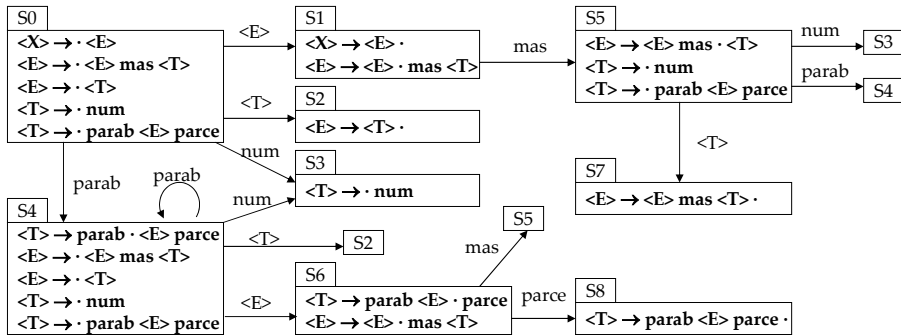
Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Reglas de producción
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle E \rangle \text{ mas } \langle T \rangle$
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle T \rangle$
 - $\langle T \rangle \rightarrow \text{num}$
 - $\langle T \rangle \rightarrow \text{parab } \langle E \rangle \text{ parce}$
- Ejemplo
 - $7 + (8 + 2 + (3 + 1))$



Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Autómata Reconocedor de Prefijos Viables



Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Tabla de análisis SLR

Símbolo	Estado	mas	num	parab	parce	\$	<E>	<T>
-	0		d3	d4			1	2
<E>	1	d5				aceptar		
<T>	2	r2			r2	r3		
num	3	r3			r3	r3		
parab	4		d3	d4			6	2
mas	5		d3	d4				7
<E>	6	d5			d8			
<T>	7	r1			r1	r1		
parce	8	r4			r4	r4		



Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Traza de la cadena 7+5

Pila de atributos	Pila de estados	Entrada	Acción
-	0	num mas num \$	d3
- num	0 3	mas num \$	r3
- <T>	0 2	mas num \$	r2
- <E>	0 1	mas num \$	d5
- <E> mas	0 1 5	num \$	d3
- <E> mas num	0 1 5 3	\$	r3
- <E> mas <T>	0 1 5 7	\$	r1
- <E>	0 1		\$ aceptar

27



Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Gramática atribuida
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle E \rangle \text{ mas } \langle T \rangle$ { $$$.\text{op} = \text{SUMA}; $$.\text{izquierda} = \$1; \text{SS.derecha} = \$3;$ }
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle T \rangle$ { $$$.\text{op} = \text{TERMINO}; $$.\text{izquierda} = \$1; $$.\text{derecha} = \text{NULL};$ }
- Notación (utilizada en YACC)
 - \$\$ es la estructura de datos de la parte izquierda de la regla
 - \$1 .. \$N es la estructura de datos del símbolo 1 .. N de la parte derecha
 - Para una regla de N símbolos, la estructura \$M se encuentra en la posición N-M desde la cima de la pila
 - No admite atributos heredados

28

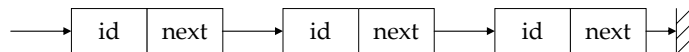


Ejemplo de un ETDS basado en análisis ascendente

- Notación
 - Las acciones semánticas situadas al final de una regla se ejecutan al reducir esa regla
 - Las acciones semánticas intermedias se sustituyen por nuevas reglas (marcadores). Por ejemplo:
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle E \rangle \{ \$$.izq = \$I; \} \text{mas} \{ \$$.op = SUMA; \} \langle T \rangle \{ \$$.dcha = \$3; \}$
 - se transforma en:
 - $\langle E \rangle \rightarrow \langle E \rangle \langle M1 \rangle \text{mas} \langle M2 \rangle \langle T \rangle \{ \$$.dcha = \$3; \}$
 - $\langle M1 \rangle \rightarrow \lambda \{ \$$.izq = \$I; \}$
 - $\langle M2 \rangle \rightarrow \lambda \{ \$$.op = SUMA; \}$



Generación de una estructura de lista



- Gramática LL(1) BNF
 - $\langle Lista \rangle \rightarrow \text{id} \langle SigueLista \rangle$
 - $\langle SigueLista \rangle \rightarrow \text{coma id} \langle SigueLista \rangle$
 - $\langle SigueLista \rangle \rightarrow \lambda$
- Gramática LL(1) EBNF
 - $\langle Lista \rangle \rightarrow \text{id} (\text{coma id})^*$
- Gramática LR(1)
 - $\langle Lista \rangle \rightarrow \text{id}$
 - $\langle Lista \rangle \rightarrow \langle Lista \rangle \text{coma id}$



Generación de una estructura de lista

- Gramática LL(1) BNF
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{id } \langle \text{SigueLista} \rangle$
{ e = new Element(), e.id = id, e.next = SigueLista.s, Lista.s = e }
 - $\langle \text{SigueLista} \rangle \rightarrow \text{coma id } \langle \text{SigueLista}_1 \rangle$
{ e = new Element(), e.id = id, e.next = SigueLista₁.s, SigueLista.s = e }
 - $\langle \text{SigueLista} \rangle \rightarrow \lambda$ { SigueLista.s = null }
- Gramática LL(1) EBNF
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{id } \{ e = \text{new Element}(), e.\text{id} = \text{id}, e.\text{next} = \text{null}, \text{Lista}.s = e, \text{last} = e \}$
(**coma id** { e = new Element(), e.id = id, e.next = null ,
last.next = e, last = last.next })*

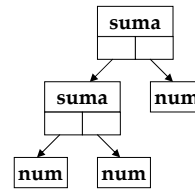


Generación de una estructura de lista

- Gramática LR(1)
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{id}$
{ e = new Element(), e.id = id, e.next = null, Lista.s = e, Lista.last = e }
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \langle \text{Lista}_1 \rangle \text{ coma id}$
{ e = new Element(), e.id = id, e.next = null, Lista.s = Lista₁.s,
Lista₁.last.next = e, Lista.last = e }
- Gramática LR(1)
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{id } \{ e = \text{new Element}(), e.\text{id} = \text{id}, e.\text{next} = \text{null}, \text{Lista}.s = e \}$
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{id } \text{coma } \langle \text{Lista}_1 \rangle$
{ e = new Element(), e.id = id, e.next = Lista₁.s, Lista.s = e }



Generación de una estructura de árbol binario



- Gramática LL(1) BNF
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num } \langle \text{SigüeÁrbol} \rangle$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol} \rangle \rightarrow \text{más num } \langle \text{SigüeÁrbol} \rangle$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol} \rangle \rightarrow \lambda$
- Gramática LL(1) EBNF
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num } (\text{más num })^*$
- Gramática LR(1)
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num}$
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \langle \text{Árbol}_1 \rangle \text{ más num}$

33



Generación de una estructura de árbol binario

- Gramática LL(1) BNF
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num } \{ \text{SigüeÁrbol.h} = \text{num} \}$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol} \rangle \{ \text{Árbol.s} = \text{SigüeÁrbol.s} \}$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol} \rangle \rightarrow \text{más num } \{ \text{SigüeÁrbol}_1.h = \text{new Suma}(\text{SigüeÁrbol.h}, \text{num}) \}$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol}_1 \rangle \{ \text{SigüeÁrbol.s} = \text{SigüeÁrbol}_1.s \}$
 - $\langle \text{SigüeÁrbol} \rangle \rightarrow \lambda \{ \text{SigüeÁrbol.s} = \text{SigüeÁrbol.h} \}$
- Gramática LL(1) EBNF
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num } \{ \text{Árbol.s} = \text{num} \}$
 - $(\text{más num } \{ \text{Árbol.s} = \text{new Suma}(\text{Árbol.s}, \text{num}) \})^*$

34



Generación de una estructura de árbol binario

- Gramática LR(1)
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \text{num} \{ \text{Árbol.s} = \text{num} \}$
 - $\langle \text{Árbol} \rangle \rightarrow \langle \text{Árbol}_1 \rangle \text{ más num} \{ \text{Árbol.s} = \text{new Suma}(\text{Árbol}_1.\text{s}, \text{num}) \}$



Generación de una estructura de vector

```
class Vector { public Vector(); public add(Element e); }
```

- Gramática LL(1) BNF
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \text{num} \langle \text{SigueLista} \rangle$
 $\{ v = \text{new Vector}(), v.\text{add}(\text{num}), \text{SigueLista.h} = v, \text{Lista.s} = v \}$
 - $\langle \text{SigueLista} \rangle \rightarrow \text{más num}$
 $\{ \text{SigueLista.h.add}(\text{num}), \text{SigueLista}_1.\text{h} = \text{SigueLista.h} \}$
 $\langle \text{SigueLista}_1 \rangle$
 - $\langle \text{SigueLista} \rangle \rightarrow \lambda \{ \}$
- Gramática LL(1) EBNF
 - $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \{ v = \text{new Vector}() \} \text{ num} \{ v.\text{add}(\text{num}) \}$
 $(\text{ más num} \{ v.\text{add}(\text{num}) \})^* \{ \text{Lista.s} = v \}$



Generación de una estructura de vector

```
class Vector { public Vector(); public add(Element e); }
```

- Gramática LR(1)

- $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \mathbf{num} \{ v = \text{new Vector}(), v.\text{add}(\text{num}), \text{Lista}.s = v \}$

- $\langle \text{Lista} \rangle \rightarrow \langle \text{Lista}_1 \rangle \mathbf{más num} \{ \text{Lista}.s = \text{Lista}_1.s, \text{Lista}.s.\text{add}(\text{num}) \}$