什么是语法制导翻译

- >编译的阶段
 - ▶词法分析
 - ▶语法分析

 - ▶语义分析▶中间代码生成
 - 一代码优化
 - ▶目标代码生成

语法制导翻译 (Syntax-Directed Translation)

语法制导翻译使用CFG来引导对语言的翻译, 是一种面向文法的翻译技术

语法制导翻译的基本思想

- ▶如何表示语义信息?
 - ▶ 为CFG中的文法符号设置语义属性,用来表示语法成分对应的语义信息
- >如何计算语义属性?
 - ▶文法符号的语义属性值是用与文法符号所在产生式 (语法规则)相关联的语义规则来计算的
 - ▶对于给定的输入串x,构建x的语法分析树,并利用与产生式(语法规则)相关联的语义规则来计算分析树中各结点对应的语义属性值

两个概念

- ▶将语义规则同语法规则(产生式)联系起来要涉及两个概念
 - ▶语法制导定义(Syntax-Directed Definitions, SDD)
 - ▶语法制导翻译方案 (Syntax-Directed Translation Scheme, SDT)

语法制导定义(SDD)

- ▶SDD是对CFG的推广
 - 户将每个文法符号和一个语义属性集合相关联
 - ▶将每个产生式和一组语义规则相关联,这些规则用于计算该产生式中各文法符号的属性值
- \rightarrow 如果X是一个文法符号,a是X的一个属性,则用 X.a表示属性a在某个标号为X的分析树结点上的值

语法制导定义(SDD)

- ▶SDD是对CFG的推广
 - 》将每个文法符号和一个语义属性集合相关联
 - ▶将每个产生式和一组语义规则相关联,这些规则用于计算该产生式中各文法符号的属性值

〉例

•	
产生式	语义规则
$D \rightarrow TL$	L.inh = T.type
$T \rightarrow \text{int}$	T. type = int
$T \rightarrow \text{real}$	T. type = real
$L \rightarrow L_1$, id	L_1 . $inh = L$. inh
•••	•••

语法制导翻译方案(SDT)

▶SDT是在产生式右部嵌入了程序片段的CFG,这 些程序片段称为语义动作。按照惯例,语义动作 放在花括号内

 $D \to T \{ L.inh = T.type \} L$ $T \to \text{int } \{ T.type = int \}$ $T \to \text{real } \{ T.type = real \}$ $L \to \{ L_I.inh = L.inh \} L_I, \text{id}$...

一个语义动作在产生式中的位置决定了这个动作的执行时间

SDD与SDT

>SDD

- ▶是关于语言翻译的高层次规格说明
- ▶隐蔽了许多具体实现细节,使用户不必显式地说明翻译发生的顺序

>SDT

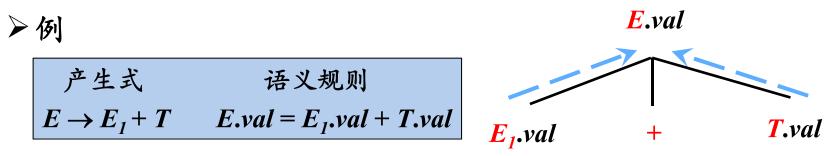
- >可以看作是对SDD的一种补充,是SDD的具体实施方案
- ▶显式地指明了语义规则的计算顺序,以便说明某些实 现细节

语法制导定义SDD

- ▶语法制导定义SDD是对CFG的推广
 - 户将每个文法符号和一个语义属性集合相关联
 - ▶将每个产生式和一组语义规则相关联,用来计算该产生式中各文法符号的属性值
- ▶文法符号的属性
 - ▶综合属性 (synthesized attribute)
 - ▶继承属性 (inherited attribute)

综合属性(synthesized attribute)

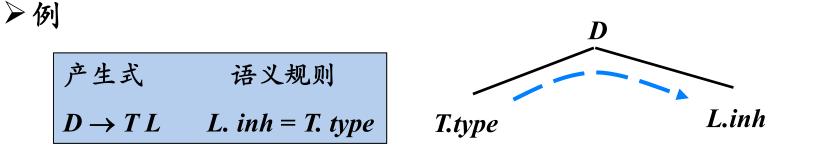
▶在分析树结点 N上的非终结符A的综合属性只能通过 N的子结点或 N本身的属性值来定义



▶终结符可以具有综合属性。终结符的综合属性值是由词法分析器提供的词法值,因此在SDD中没有计算终结符属性值的语义规则

继承属性(inherited attribute)

▶在分析树结点 N上的非终结符A的继承属性只能通过 N的父结点、N的兄弟结点或 N本身的属性值来定义



>终结符没有继承属性。终结符从词法分析器处获得 的属性值被归为综合属性值

例:带有综合属性的SDD

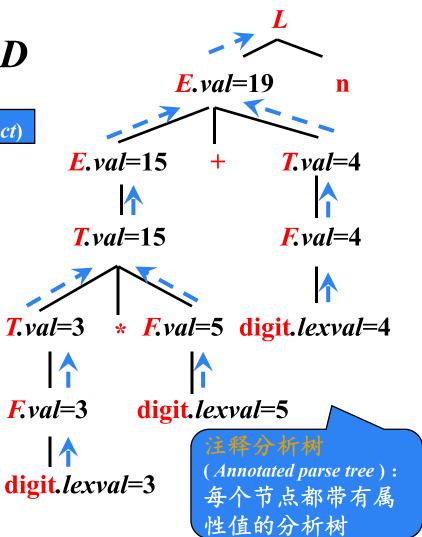
以n结尾的表达式求值

SDD:

副作用(Side effect)

产生式	语义规则
$(1) L \to E n$	print(E.val)
$(2) E \rightarrow E_1 + T$	$E.val = E_1.val + T.val$
$(3) E \to T$	E.val = T.val
$(4) T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1 \cdot val \times F.val$
$(5) T \to F$	T.val = F.val
$(6) F \rightarrow (E)$	F.val = E.val
(7) $F \rightarrow \text{digit}$	F.val = digit.lexval

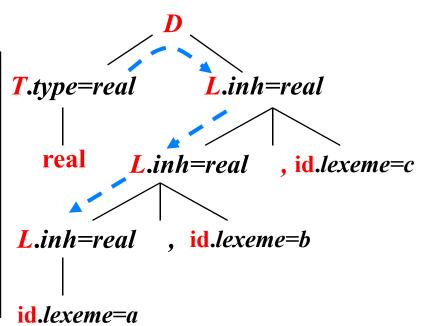
输入:



例:带有继承属性L.in的SDD

SDD:

	产生式	语义规则
(1)	$D \to TL$	L.inh = T. type
(2)	$T \rightarrow \text{int}$	T.type = int
(3)	$T \rightarrow \text{real}$	T.type = real
(4)	$L \rightarrow L_1$, id	$L_1.inh = L.inh$
		addtype(id.lexeme, L.inh)
(5)	$L \rightarrow id$	addtype(id.lexeme, L.inh)



输入:

real a, b, c

属性文法 (Attribute Grammar)

- ▶一个没有副作用的SDD有时也称为属性文法
 - ▶属性文法的规则仅仅通过其它属性值和常量来 定义一个属性值

〉例

产生式	语义规则
$(1) L \to E n$	L.val = E.val
$(2) E \rightarrow E_1 + T$	$E.val = E_{1}.val + T.val$
$(3) E \to T$	E.val = T.val
$(4) T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1.val \times F.val$
$(5) T \to F$	T.val = F.val
$(6) F \rightarrow (E)$	F.val = E.val
$(7) F \to \text{digit}$	F.val = digit.lexval

SDD的求值顺序

- >SDD为CFG中的文法符号设置语义属性。对于 给定的输入串x,应用语义规则计算分析树中各 结点对应的属性值
- ▶按照什么顺序计算属性值?
 - ▶语义规则建立了属性之间的依赖关系,在对语法分析树节点的一个属性求值之前,必须首先求出这个属性值所依赖的所有属性值

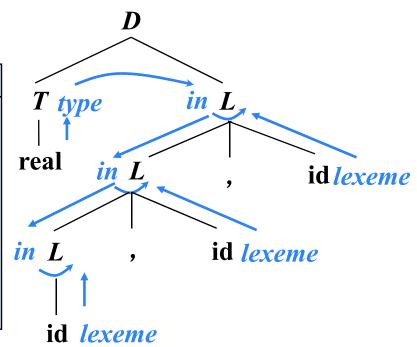
依赖图(Dependency Graph)

- ▶依赖图是一个描述了分析树中结点属性间依赖关系的有向图
- ▶ 分析树中每个标号为X的结点的每个属性a都对应 着依赖图中的一个结点
- →如果属性X.a的值依赖于属性Y.b的值,则依赖图中有一条从Y.b的结点指向X.a的结点的有向边

例

SDD:

	产生式	语义规则
(1)	$D \to TL$	L.in = T. type
(2)	$T \rightarrow \text{int}$	T.type = int
(3)	$T \rightarrow \text{real}$	T.type = real
(4)	$L \rightarrow L_1$, id	$L_1.in = L.in$
		addtype(id.lexeme, L.in)
(5)	$L \rightarrow \mathrm{id}$	addtype(id.lexeme, L.in)



输入:

real a, b, c

属性值的计算顺序

- 》可行的求值顺序是满足下列条件的结点序列 N_1 , N_2 , ..., N_k : 如果依赖图中有一条从结点 N_i 到 N_j 的边 $(N_i \rightarrow N_j)$, 那么i < j (即:在节点序列中, N_i 排在 N_j 前面)
- ▶这样的排序将一个有向图变成了一个线性排序, 这个排序称为这个图的拓扑排序(topological sort)

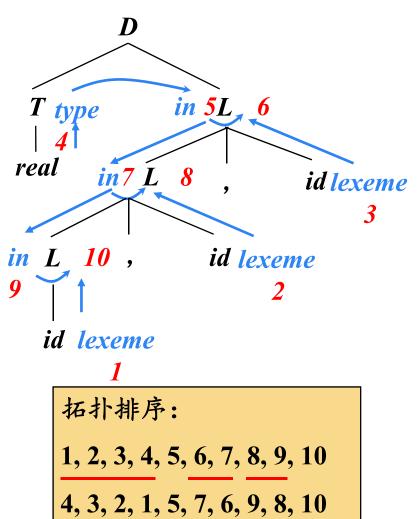
例

SDD:

	产生式	语义规则
(1)	$D \to TL$	L.in = T. type
(2)	$T \rightarrow \text{int}$	T.type = int
(3)	$T \rightarrow \text{real}$	T.type = real
(4)	$L \rightarrow L_1$, id	$L_1.in = L.in$
		addtype(id.lexeme, L.in)
(5)	$L \rightarrow \mathrm{id}$	addtype(id.lexeme, L.in)

输入:

real a, b, c



- ▶对于只具有综合属性的SDD,可以按照任何自 底向上的顺序计算它们的值
- 户对于同时具有继承属性和综合属性的SDD,不能保证存在一个顺序来对各个节点上的属性进行求值

〉例

产生式	语义规则
$A \rightarrow B$	A.s = B.i
	B.i = A.s + 1

 $\begin{array}{c|c}
A.s \\
A.s \\
B.i
\end{array}$

如果图中没有环, 那么至少存在一个拓扑排序

- ▶从计算的角度看,给定一个SDD,很难确定是否存在某 棵语法分析树,使得SDD的属性之间存在循环依赖关系
- ▶幸运的是,存在一个SDD的有用子类,它们能够保证对每棵语法分析树都存在一个求值顺序,因为它们不允许产生带有环的依赖图
- 一不仅如此,接下来介绍的两类SDD可以和自顶向下及自 底向上的语法分析过程一起高效地实现
 - ▶ S-属性定义 (S-Attributed Definitions, S-SDD)
 - ► L-属性定义 (L-Attributed Definitions, L-SDD)

S-属性定义

 \triangleright 仅仅使用综合属性的SDD称为S属性的SDD,或S-属性定义、

S-SDD

〉例

产生式	语义规则
$(1) L \rightarrow E n$	L.val = E.val
$(2) E \rightarrow E_1 + T$	$E.val = E_{1}.val + T.val$
$(3) E \to T$	E.val = T.val
$(4) T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1.val \times F.val$
$(5) T \to F$	T.val = F.val
$(6) F \rightarrow (E)$	F.val = E.val
(7) $F \rightarrow \text{digit}$	F.val = digit.lexval

- →如果一个SDD是S属性的,可以按照语法分析树节点的任何 自底向上顺序来计算它的各个属性值
- ▶S-属性定义可以在自底向上的语法分析过程中实现

L-属性定义

►L-属性定义(也称为L属性的SDD或L-SDD)的 直观含义:在一个产生式所关联的各属性之间, 依赖图的边可以从左到右,但不能从右到左 (因此称为L属性的,L是Left的首字母)

L-SDD的正式定义

- 一个SDD是L-属性定义,当且仅当它的每个属性要么是一个综合属性,要么是满足如下条件的继承属性:假设存在一个产生式 $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$,其右部符号 X_i ($1 \le i \le n$)的继承属性仅依赖于下列属性:
 - >A的继承属性
 - 》产生式中 X_i 左边的符号 $X_1, X_2, \ldots, X_{i-1}$ 的属性
 - $\triangleright X_i$ 本身的属性,但 X_i 的全部属性不能在依赖图中形成环路

每个S-属性定义都是L-属性定义

L-SDD的正式定义

- 一个SDD是L-属性定义,当且仅当它的每个属性要么是一个综合属性,要么是满足如下条件的继承属性:假设存在一个产生式 $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$,其右部符号 X_i ($1 \le i \le n$)的继承属性仅依赖于下列属性:
 - ►A的继承属性」。。 为什么不能是综合属性?
 - 》产生式中 X_i 左边的符号 $X_1, X_2, \ldots, \overline{X_{i-1}}$ 的属性
 - $\triangleright X_i$ 本身的属性,但 X_i 的全部属性不能在依赖图中形成环路

L-SDD的正式定义

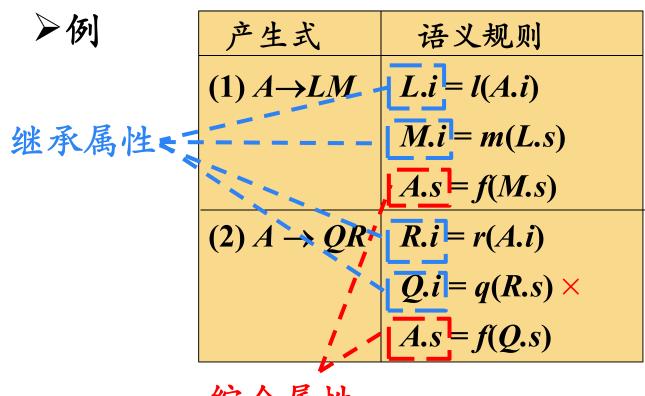
- 一个SDD是L-属性定义,当且仅当它的每个属性要么是一个综合属性,要么是满足如下条件的继承属性:假设存在一个产生式 $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$,其右部符号 X_i ($1 \le i \le n$)的继承属性仅依赖于下列属性:
 - >A的继承属性]
 - 》产生式中 X_i 左边的符号 $X_1, X_2, \ldots, X_{i-1}$ 的属性
 - $\triangleright X_i$ 本身的属性,但 X_i 的全部属性不能在依赖图中形成环路

例:L-SDD

: <i>I</i>	L-SDD	//继承属性
	产生式	语义规则
(1)	$T \rightarrow F T'$	$ T'.inh \leq F.val$
		T.val = T'.syn
(2)	$T' \rightarrow *FT_1'$	$T_{1}'.inh' = T'.inh \times F.val$
		$T'.syn = T_1'.syn$
(3)	$T' \rightarrow \varepsilon$	T'.syn = T'.inh
(4)	$F \rightarrow \text{digit}$	F.val = digit.lexval

综合属性.

非L属性的SDD



综合属性