语法制导翻译
Part1: 语法制导定义

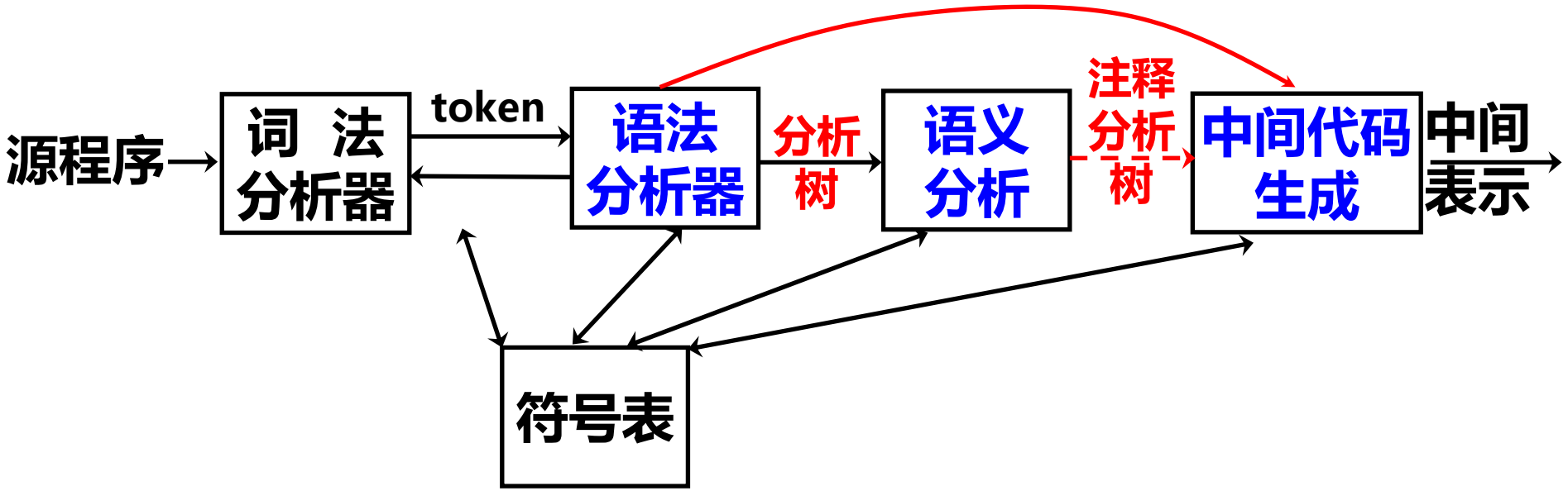
李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

2023年10月07日

本节提纲



- 语法制导翻译简介
- 语法制导定义
  - 属性、属性文法、综合属性及继承属性
  - 属性依赖图与计算次序

语法制导翻译简介

- **编译程序的目标：将源程序翻译成为语义等价的目标程序。**
  - 源程序与目标程序具有不同的语法结构，表达的结果却是相同的。
- **语法制导翻译**
  - 使用上下文无关文法(CFG)来引导对语言的翻译，是一种面向文法的翻译技术

语法制导翻译技术的应用

- **中间代码生成：将源程序翻译为中间代码**
  - 复杂性介于源语言和机器语言的一种表示形式
  - 便于生成目标代码、机器无关优化、移植

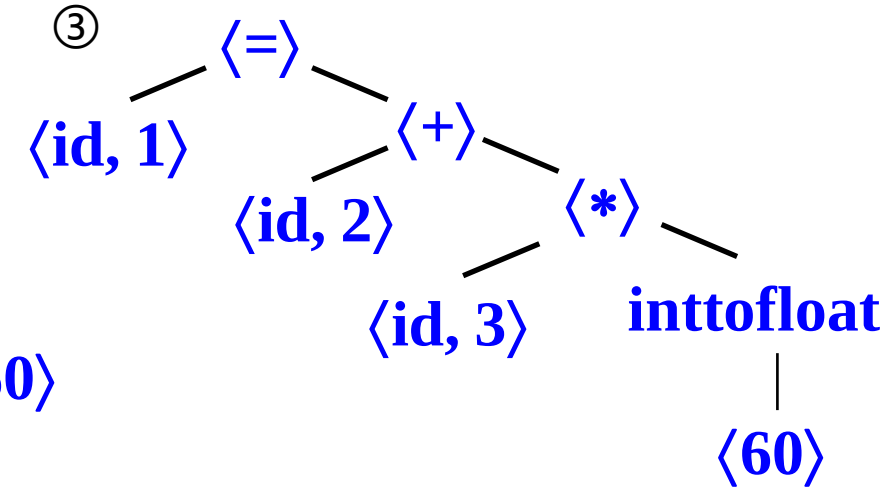
①

position = initial + rate * 60

②

⟨id, 1⟩ ⟨=⟩ ⟨id, 2⟩ ⟨+⟩ ⟨id, 3⟩ ⟨*⟩ ⟨60⟩

③



④

t1 = inttofloat(60)
t2 = id3 * t1
t3 = id2 + t2
id1 = t3

语法制导翻译技术的应用

- **语义分析：对结构上正确的源程序进行上下文有关性质的审查**
  - 例：每个算符是否具有语言规范允许的运算对象

一个C程序片断

```
int arr[2], b;
b = arr * 10;
```

语法制导翻译技术的应用

- **语义分析：对结构上正确的源程序进行上下文有关性质的审查**
  - 例：每个算符是否具有语言规范允许的运算对象
  - 例：数组访问越界

```
一个C程序片断
int a[10];
a[10] = 5;
```

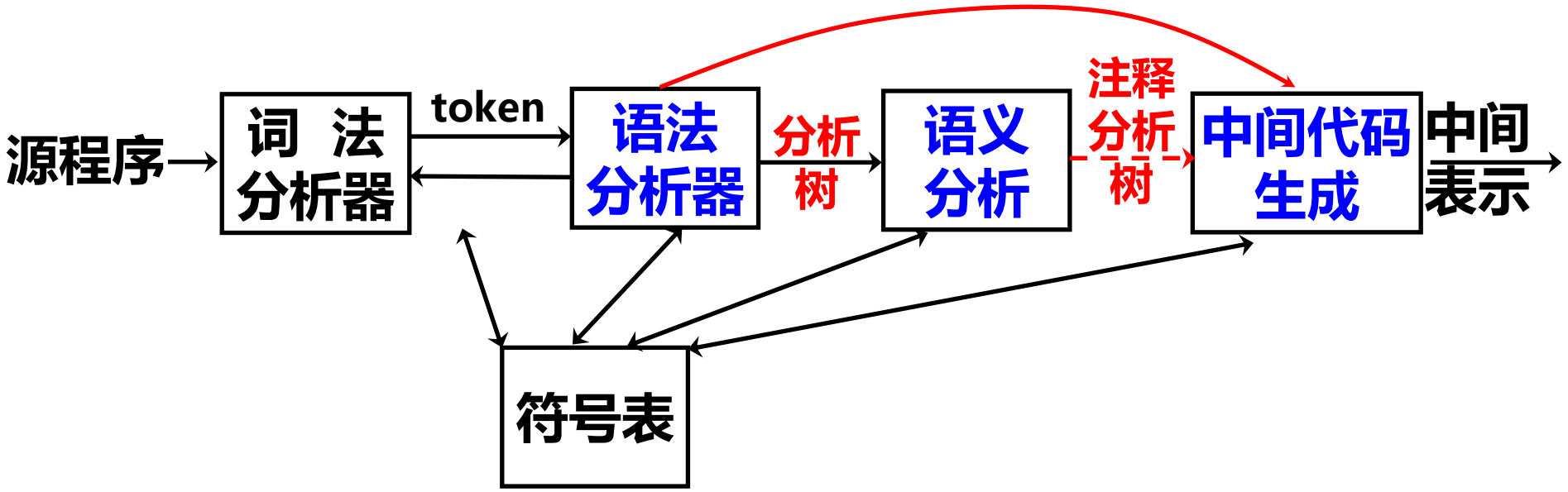
语法制导翻译技术的应用

- **语义分析：对结构上正确的源程序进行上下文有关性质的审查**
  - 例：每个算符是否具有语言规范允许的运算对象
  - 例：数组访问越界
  - 例：类型强制转换

语法制导翻译面临的问题

- **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

本节提纲



- 语法制导翻译简介
- **语法制导定义**
  - 属性、属性文法、综合属性及继承属性
  - 属性依赖图与计算次序

语法制导的定义

- **语法制导定义 (Syntax-Directed Definition, SDD)**
  - 基础的上下文无关文法
  - 每个文法符号有一组属性
  - 每个文法产生式$A \to \alpha$有一组形式为

    $b=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$的语义规则，其中$f$是函数

    b和$c_1, c_2, \ldots, c_k$是该产生式文法符号的属性

语法制导的定义

- **语法制导定义 (Syntax-Directed Definition, SDD)**
  - 基础的上下文无关文法
  - 每个文法符号有一组属性
  - 每个文法产生式$A \to \alpha$有一组形式为

    $b=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$的语义规则，其中$f$是函数

    b和$c_1, c_2, \ldots, c_k$是该产生式文法符号的属性
  - 综合属性(synthesized attribute)：如果b是A的属性，$c_1, c_2, \ldots, c_k$是产生式右部文法符号的属性或A的其它属性

终结符只能有综合属性，属性值无需计算，由词法分析给定

综合属性：举例

结尾标记

产 生 式	语 义 规 则
$L \rightarrow E$ n	*print* (*E.val*)
$E \rightarrow E_1 + T$	$E.val = E_1.val + T.val$
$E \rightarrow T$	$E.val = T.val$
$T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1.val * F.val$
$T \rightarrow F$	$T.val = F.val$
$F \rightarrow (E)$	$F.val = E.val$
$F \rightarrow$ digit	*F.val* = digit.*lexval*

带副作用的规则（虚拟属性）

对E加下标以区分不同的属性值

词法分析给定

属性的计算

- 思考：如何将语义规则所引起的属性计算与语法分析结合起来?

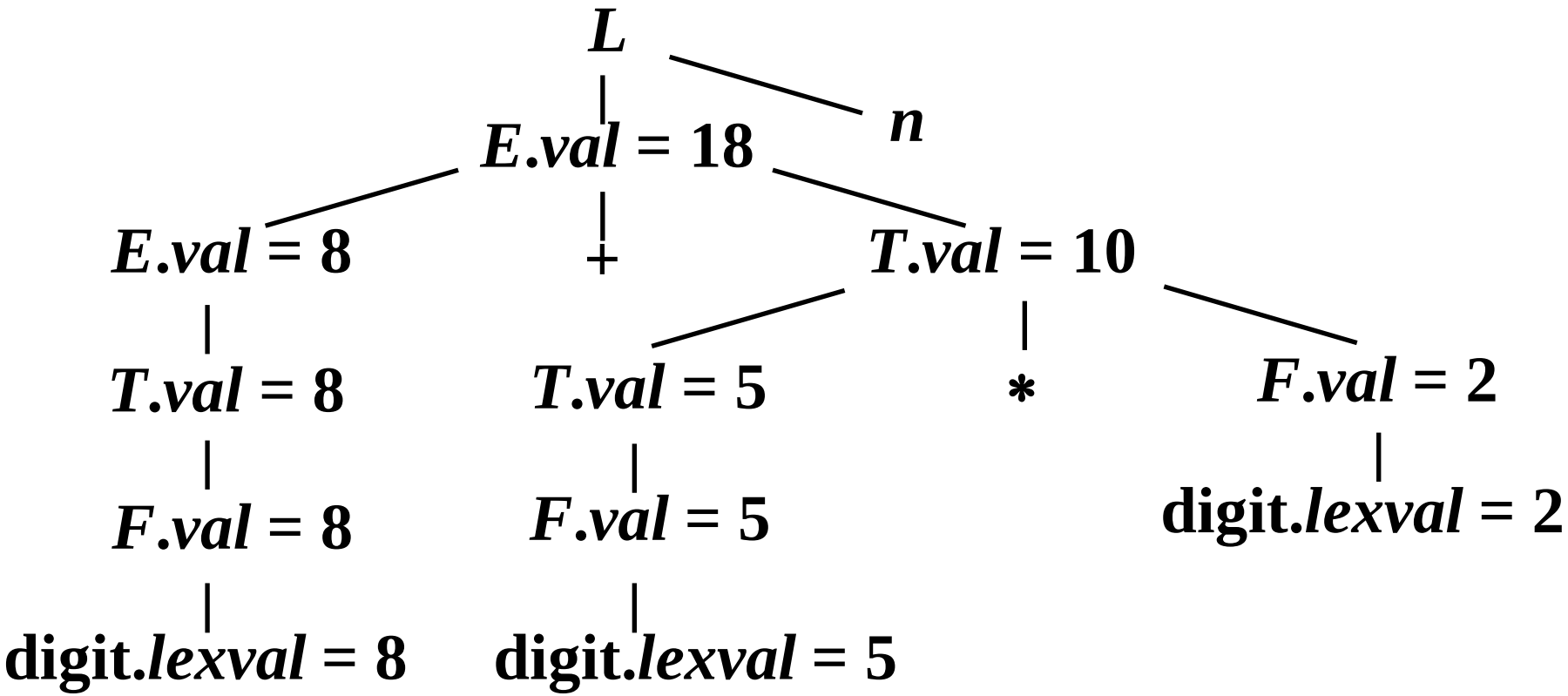
属性的计算

- 思考：如何将语义规则所引起的属性计算与语法分析结合起来?
- 语法分析的过程显式或隐式地构造了分析树(parse tree)
- 因此，可以先构造分析树，在分析树上，对每一个节点上的属性值进行求值
  - 注释分析树(Annotated parse tree)

注释分析树

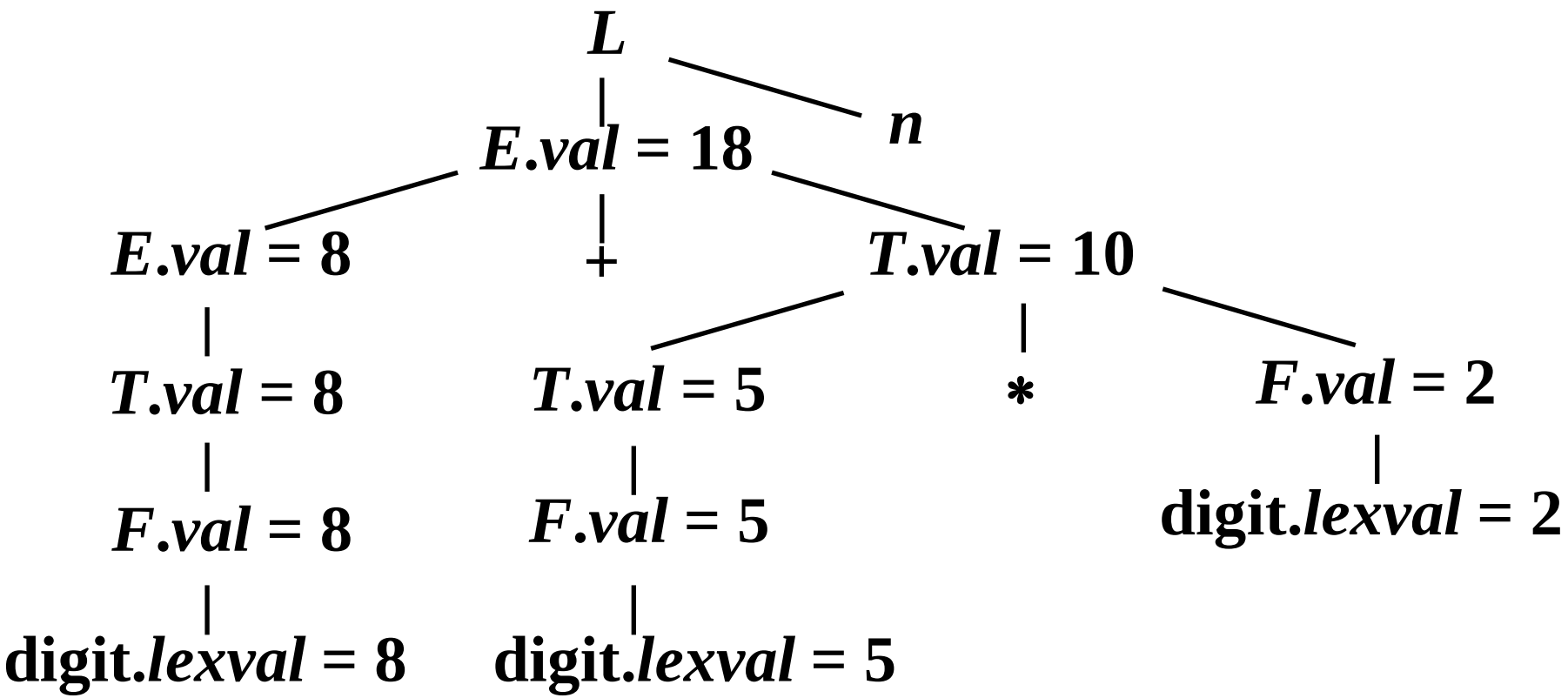
- **定义：结点的属性值都标注出来的分析树**

  8+5*2 n的注释分析树



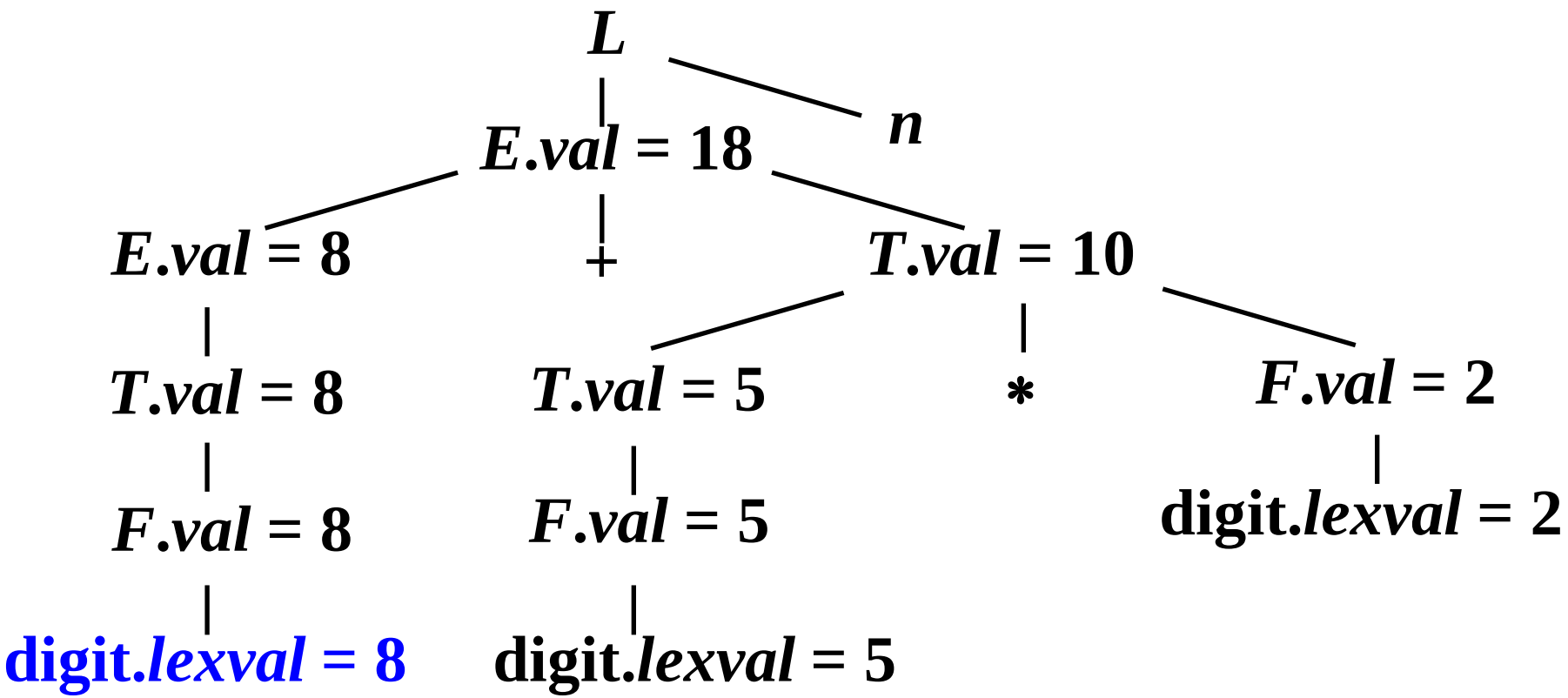
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



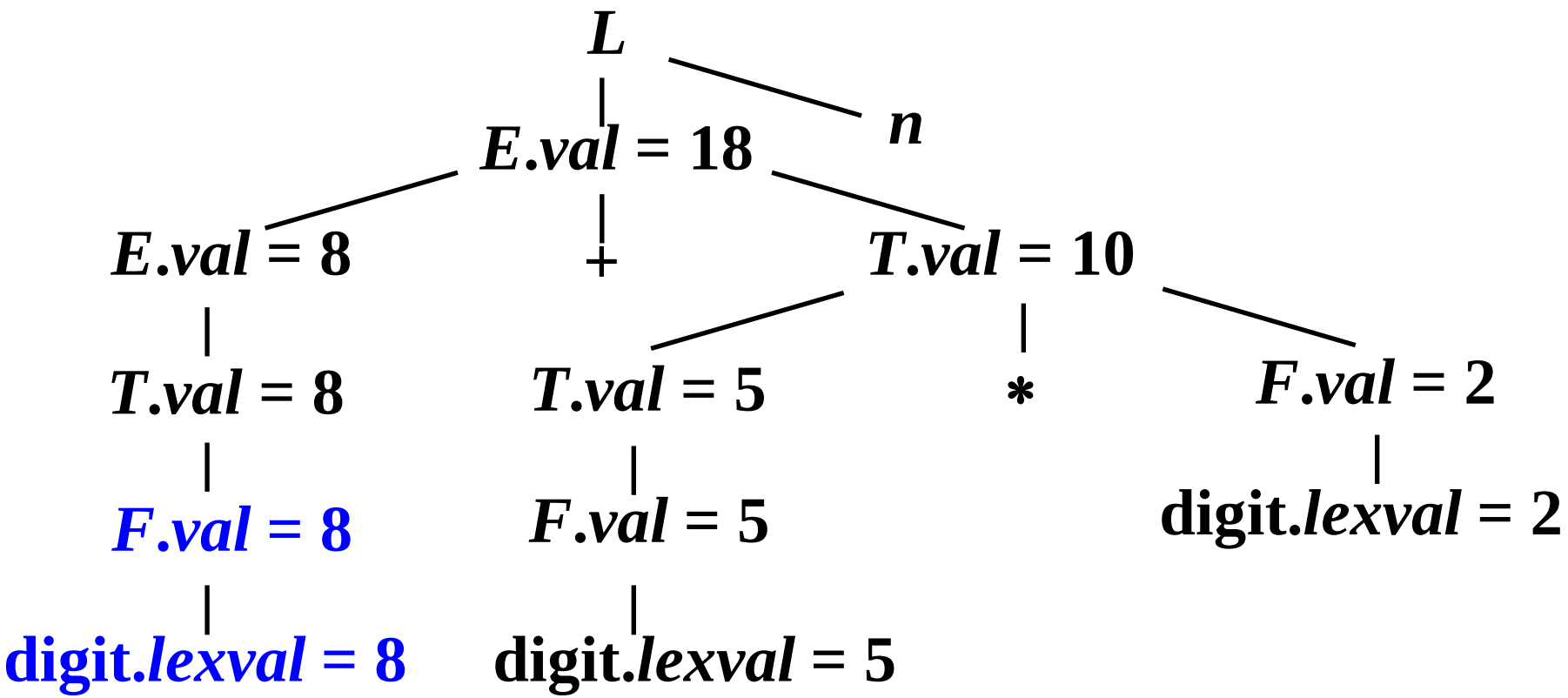
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



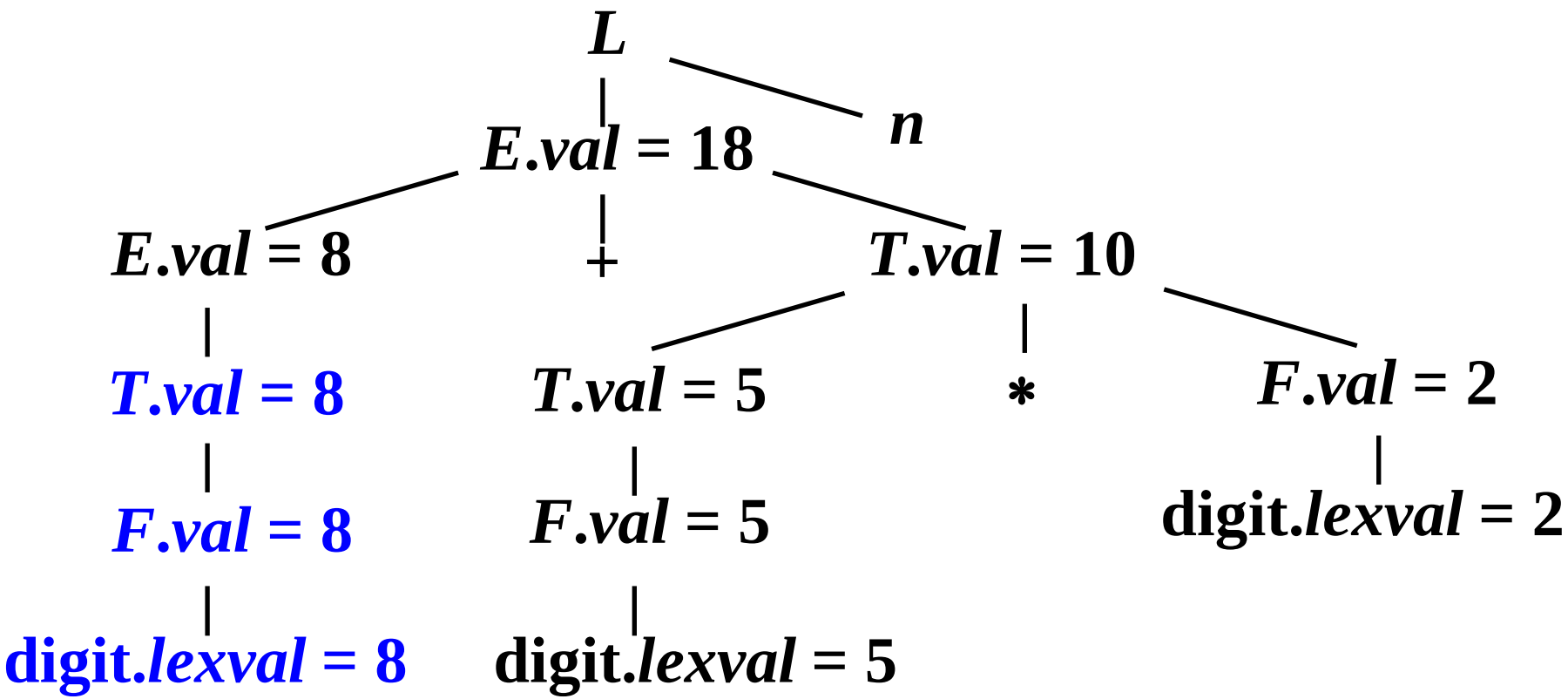
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



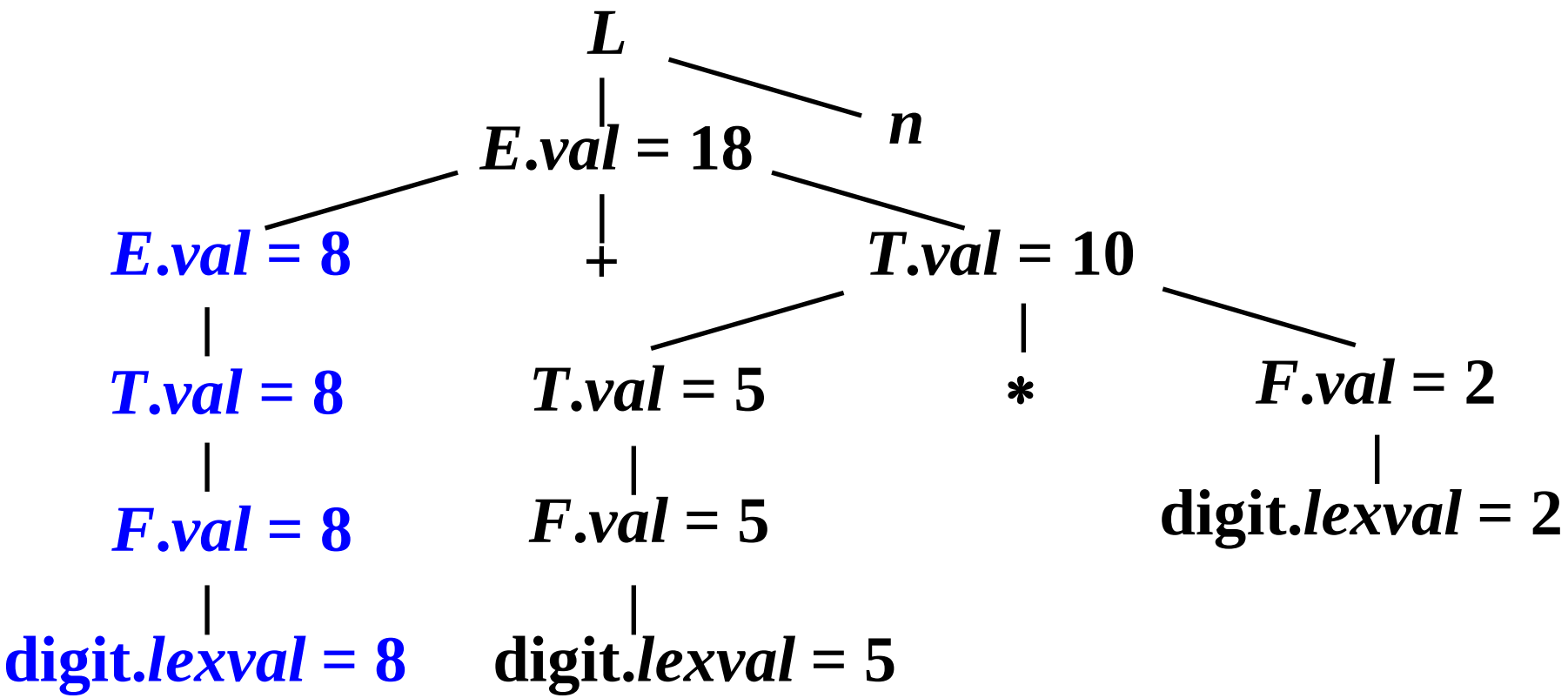
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



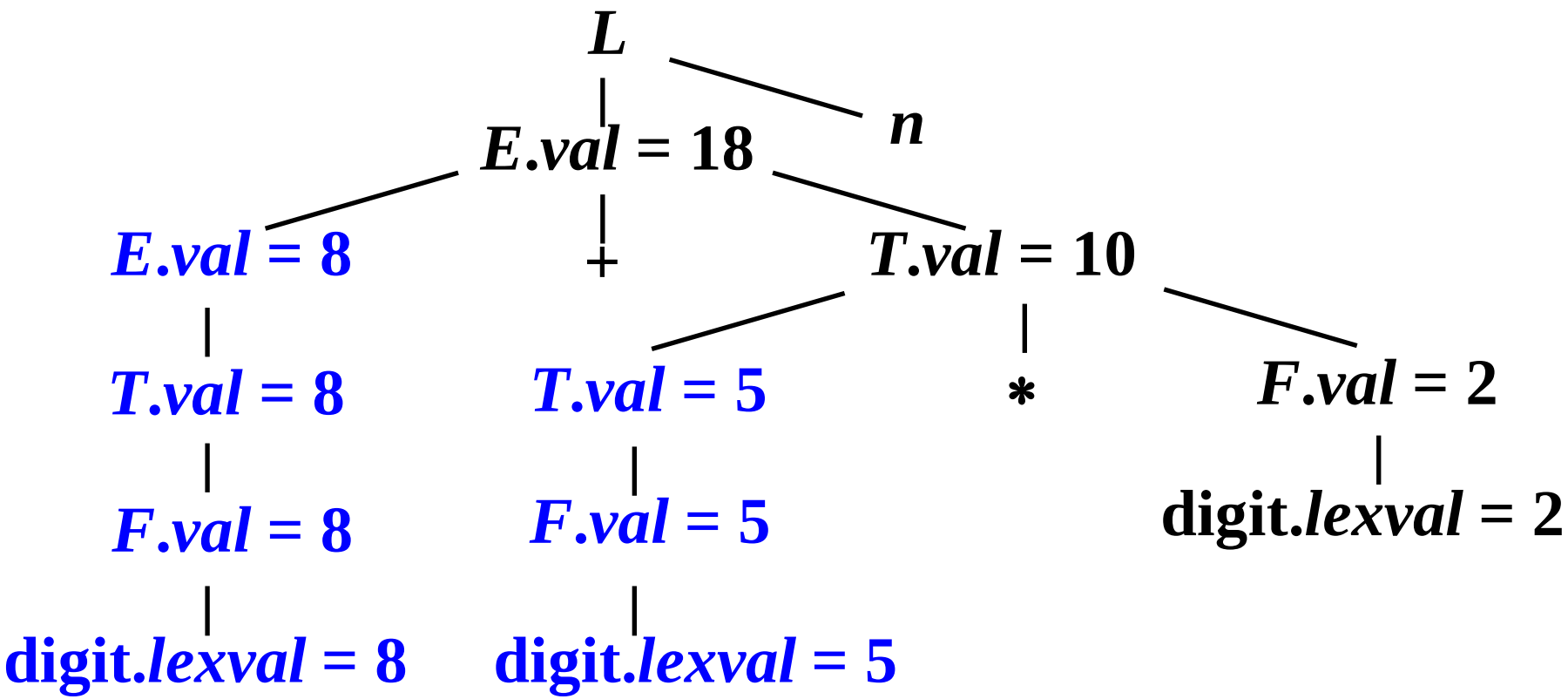
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



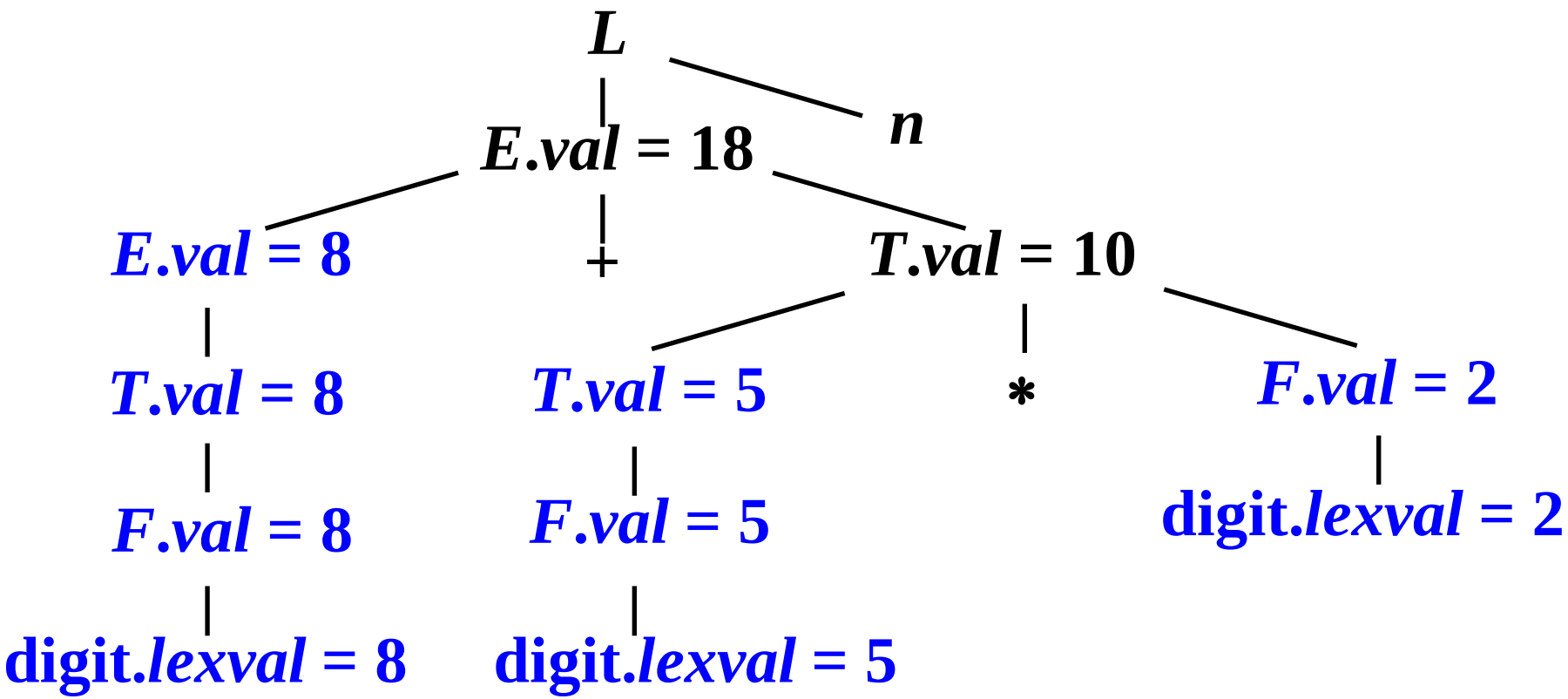
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



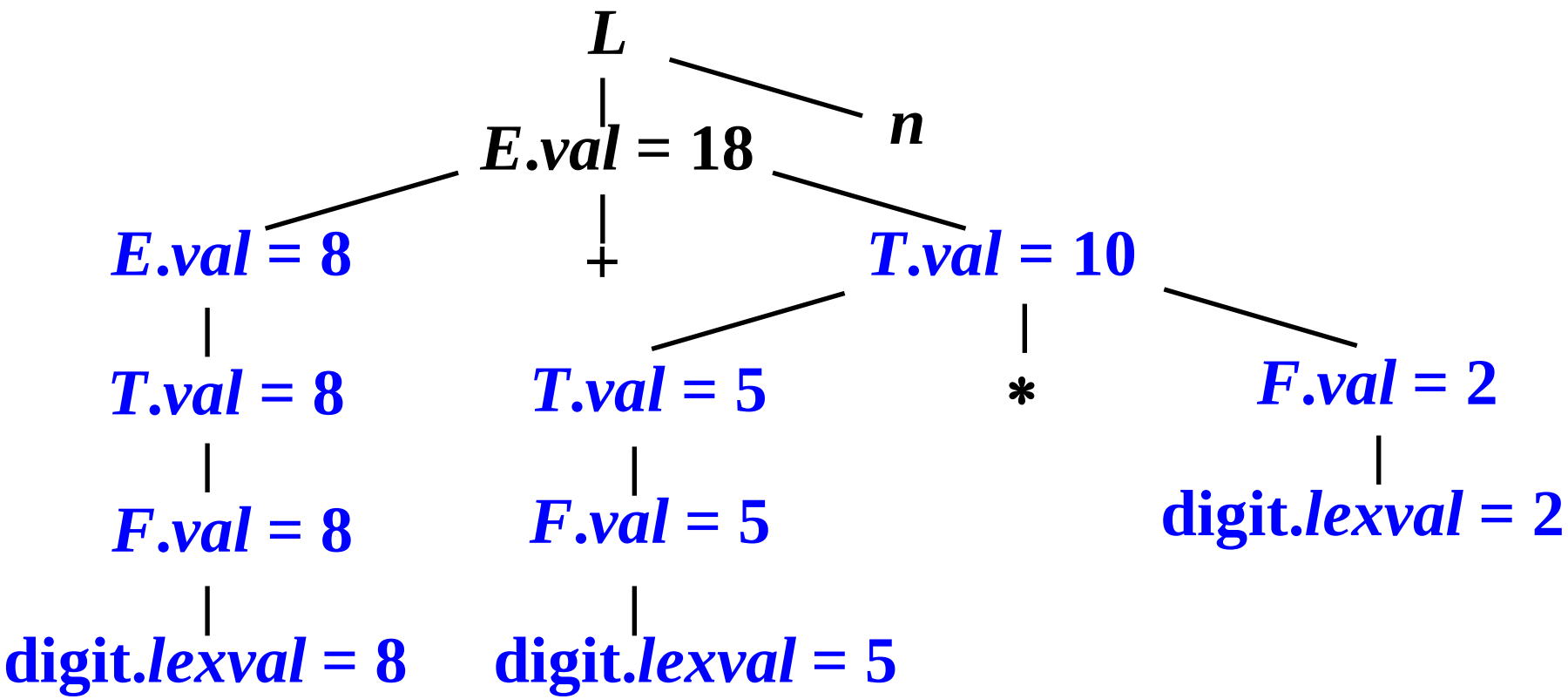
注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



注释分析树+综合属性计算

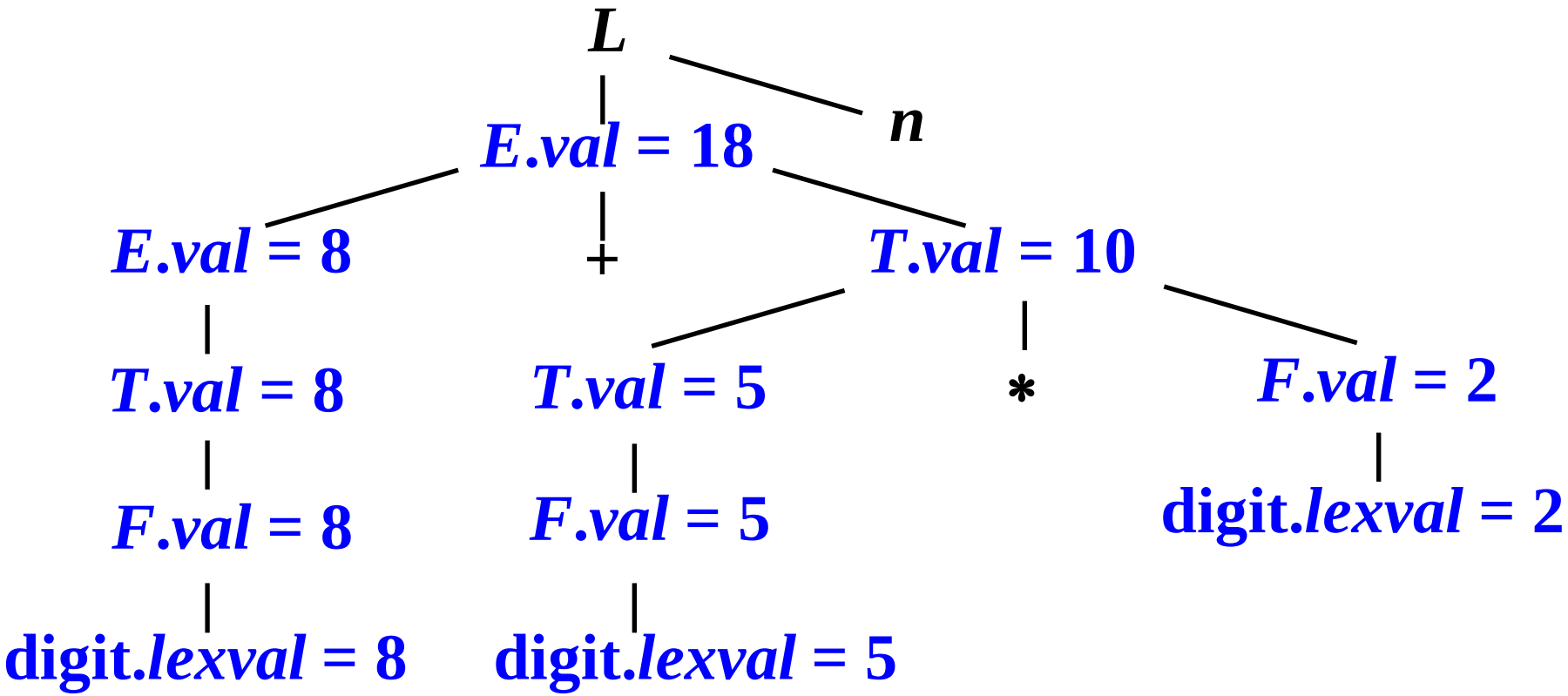
- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成



注释分析树+综合属性计算

- 各结点综合属性的计算可以自底向上地完成

综合属性的计算可以和LR分析器一起自然地实现。



例1

- **已知如下文法：**

  $E \rightarrow E - T \mid T$

  $T \rightarrow num \mid num.num$

  - 写一个语法制导定义，来确定减法表达式的类型

例1

- **已知如下文法：**

  $E \rightarrow E - T \mid T$

  $T \rightarrow num \mid num.num$

  - 写一个语法制导定义，来确定减法表达式的类型

- **设E和T有综合属性type，num的综合属性为integer，num.num的综合属性为float**

产生式	语义规则
$E \rightarrow E_1 - T$	E.type = if (E_1.type == T.type) T.type else float
$E \rightarrow T$	E.type = T.type
$T \rightarrow num$	T.type = integer
$T \rightarrow num.num$	T.type = float

综合属性的局限

- 考虑消除左递归的算术表达式文法

产 生 式	语 义 规 则
$T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1.val * F.val$
$T \rightarrow F$	$T.val = F.val$
$F \rightarrow$ digit	$F.val =$ digit.$lexval$

消除左递归

产 生 式
$T \rightarrow FT'$
$T' \rightarrow *FT_1'$
$T' \rightarrow \varepsilon$
$F \rightarrow$ digit

- 思考是否可以直接依赖综合属性val来计算算术表达式的值?

综合属性的局限

- 考虑消除左递归的算术表达式文法

产 生 式	语 义 规 则
$T \rightarrow T_1 * F$	$T.val = T_1.val * F.val$
$T \rightarrow F$	$T.val = F.val$
$F \rightarrow$ digit	$F.val =$ digit.$lexval$

消除左递归

产 生 式
$T \rightarrow FT'$
$T' \rightarrow *FT_1'$
$T' \rightarrow \varepsilon$
$F \rightarrow$ digit

- **答案是否定的**，因为T对应的项中，第一个运算分量是F，而运算符和第二个运算分量在T’中

语法制导的定义

- **语法制导定义 (Syntax-Directed Definition, SDD)**
  - 基础的上下文无关文法
  - 每个文法符号有一组属性
  - 每个文法产生式$A \to \alpha$有一组形式为

    $b=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$的语义规则，其中$f$是函数

    b和$c_1, c_2, \ldots, c_k$是该产生式文法符号的属性
  - 综合属性(synthesized attribute)：如果b是A的属性，$c_1, c_2, \ldots, c_k$是产生式右部文法符号的属性或A的其它属性
  - 继承属性(inherited attribute)：如果b是右部某文法符号X的属性，$c_1, c_2, \ldots, c_k$是A和产生式右部文法符号的属性

借助继承属性

- 考虑消除左递归的算术表达式文法
- 为T'引入继承属性*inh*
  - 该属性继承了对应的*号的左运算分量

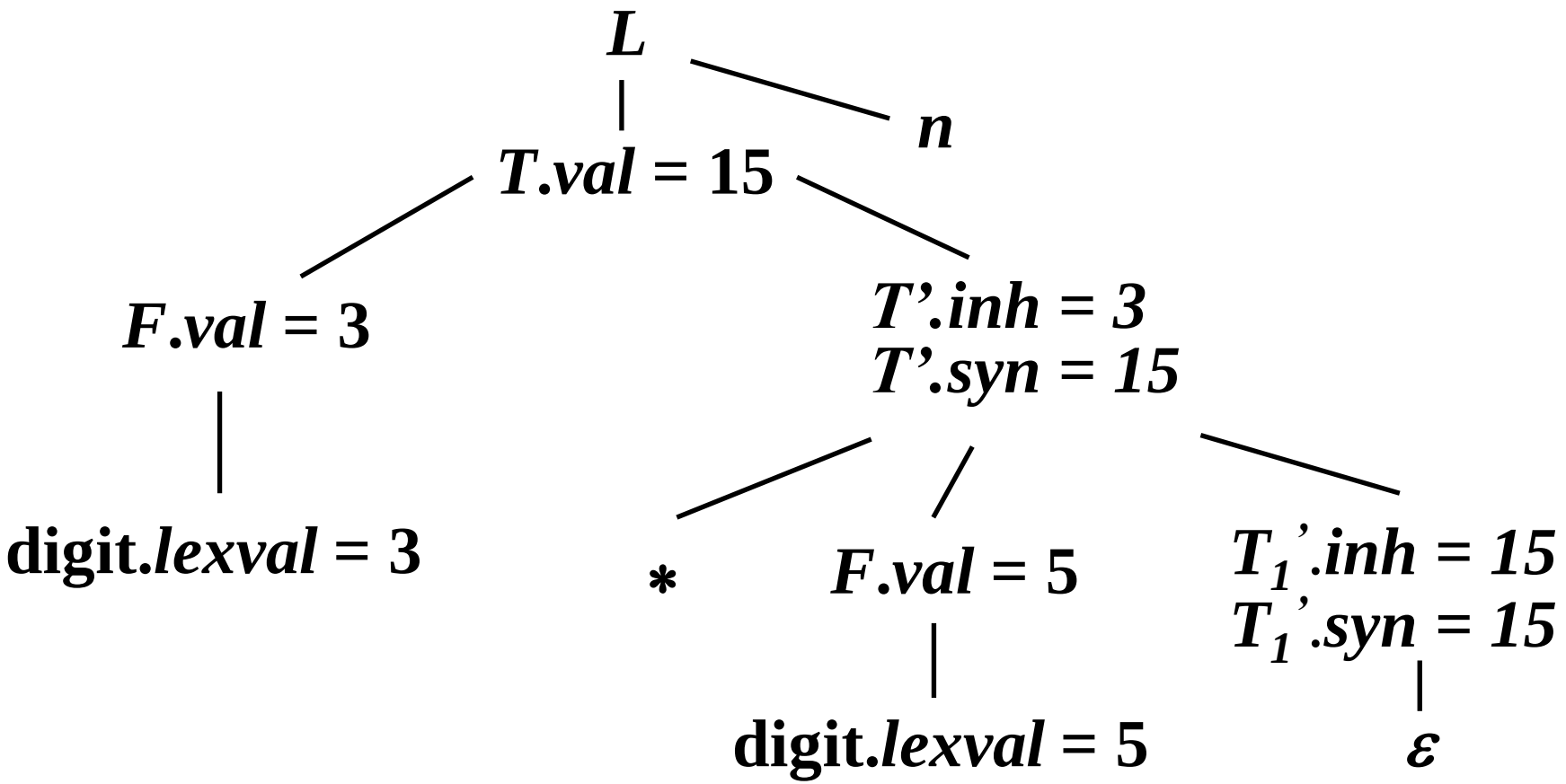
产 生 式	语 义 规 则
$T \rightarrow FT'$	$T'.inh = F.val$ $T.val = T'.syn$
$T' \rightarrow *FT_1'$	$T_1'.inh = T'.inh \times F.val$ $T'.syn = T_1'.syn$
$T' \rightarrow \varepsilon$	$T'.syn = T'.inh$
$F \rightarrow$ digit	$F.val$ = digit.$lexval$

红色代表通过计算分量的值传递开来

蓝色代表最终结果返回

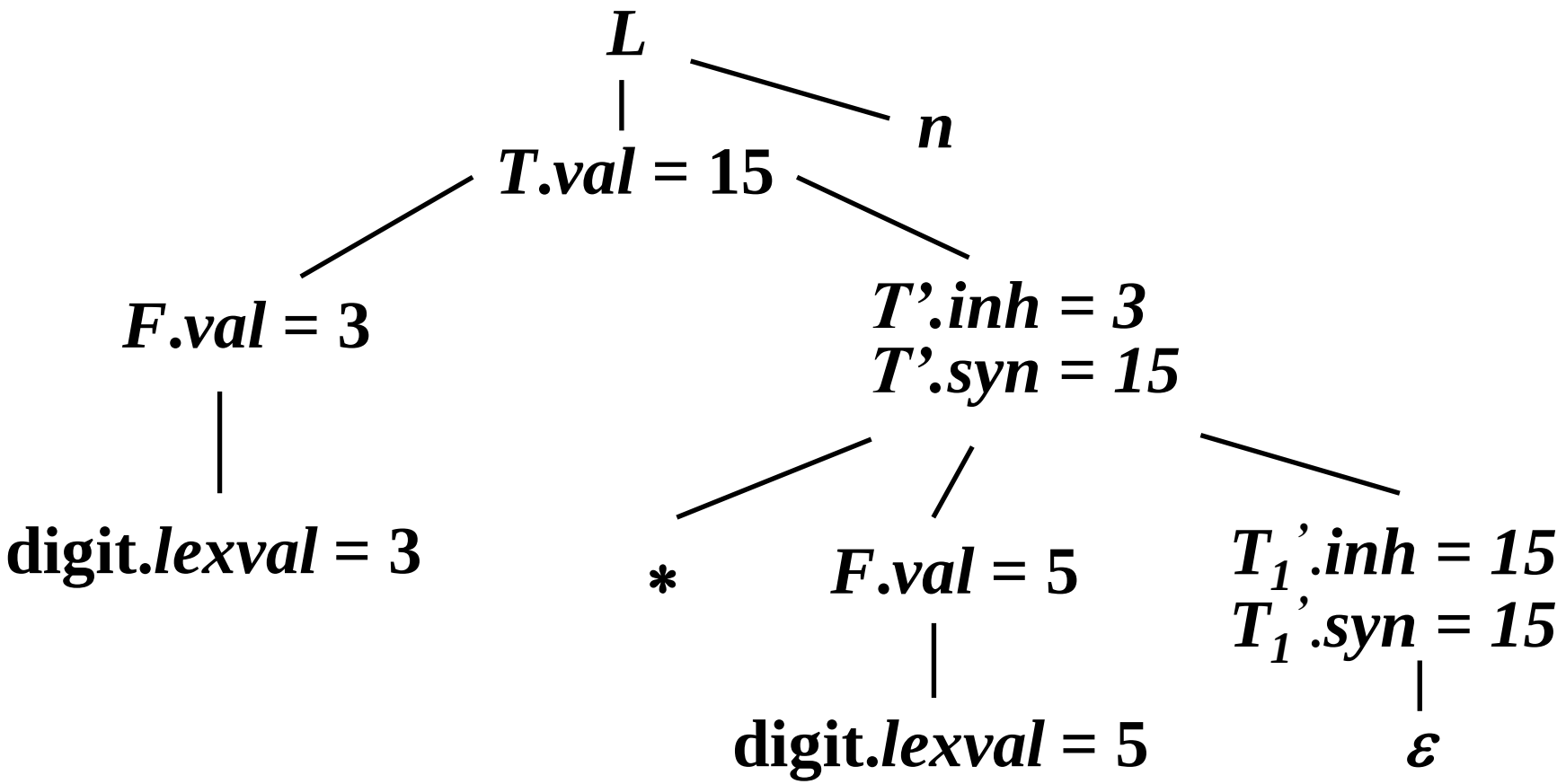
注释分析树+继承属性计算

- 3*5的注释分析树



注释分析树+继承属性计算

- 3*5的注释分析树
- 显然自底向上的计算方式是不合适的



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

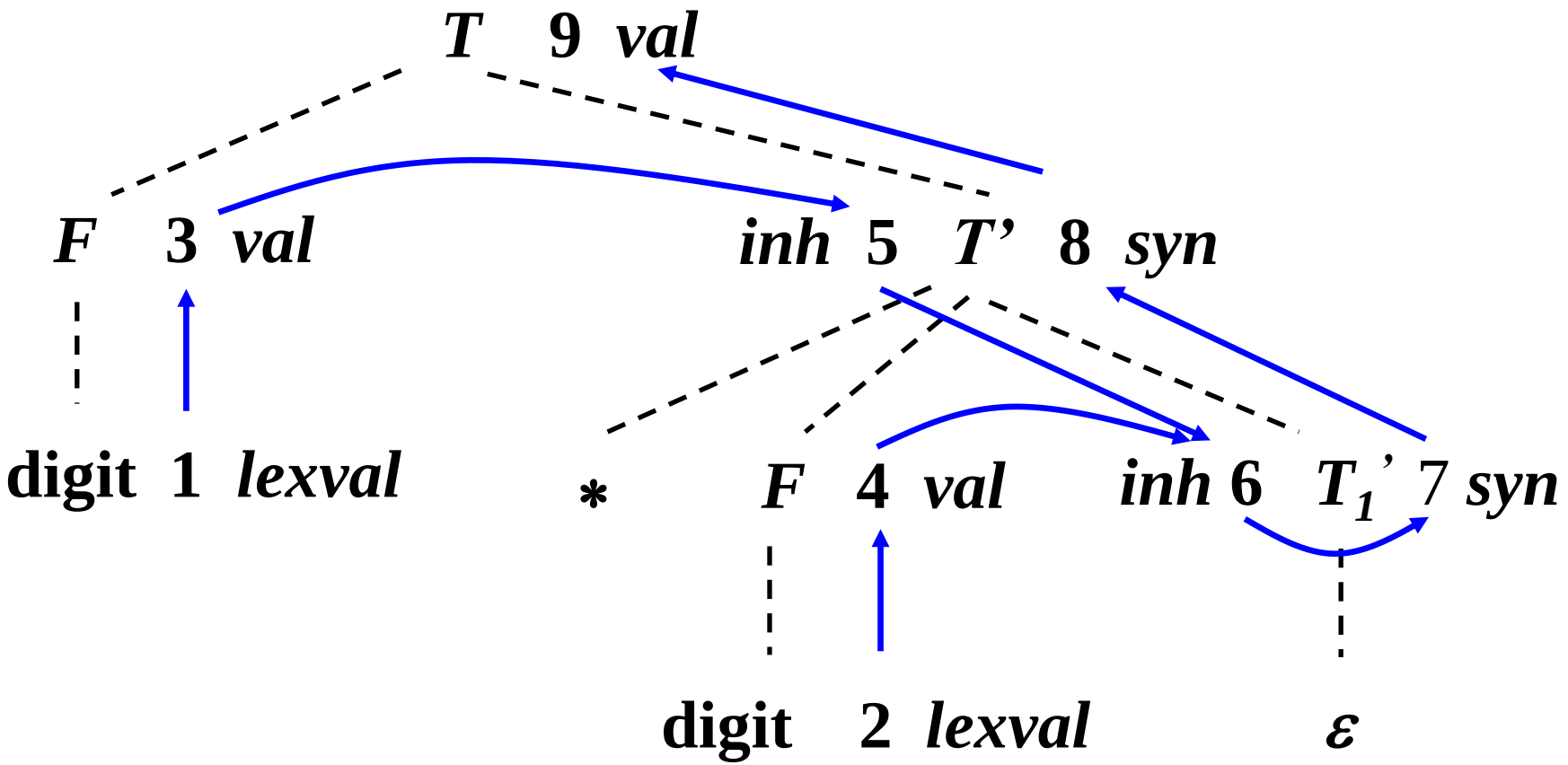
- **按照什么顺序计算属性值?**
  - 语义规则建立了属性之间的依赖关系，在对语法分析树节点的一个属性求值之前，必须首先求出这个属性值所依赖的所有属性值

属性依赖图

- **依赖图(dependency graph)是一个描述了分析树中结点属性间依赖关系的有向图**
  - 属性值为点(vertex)：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
  - 属性依赖关系为边(edge)：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

属性依赖图

- 以消除左递归的算术表达式文法和3*5为例

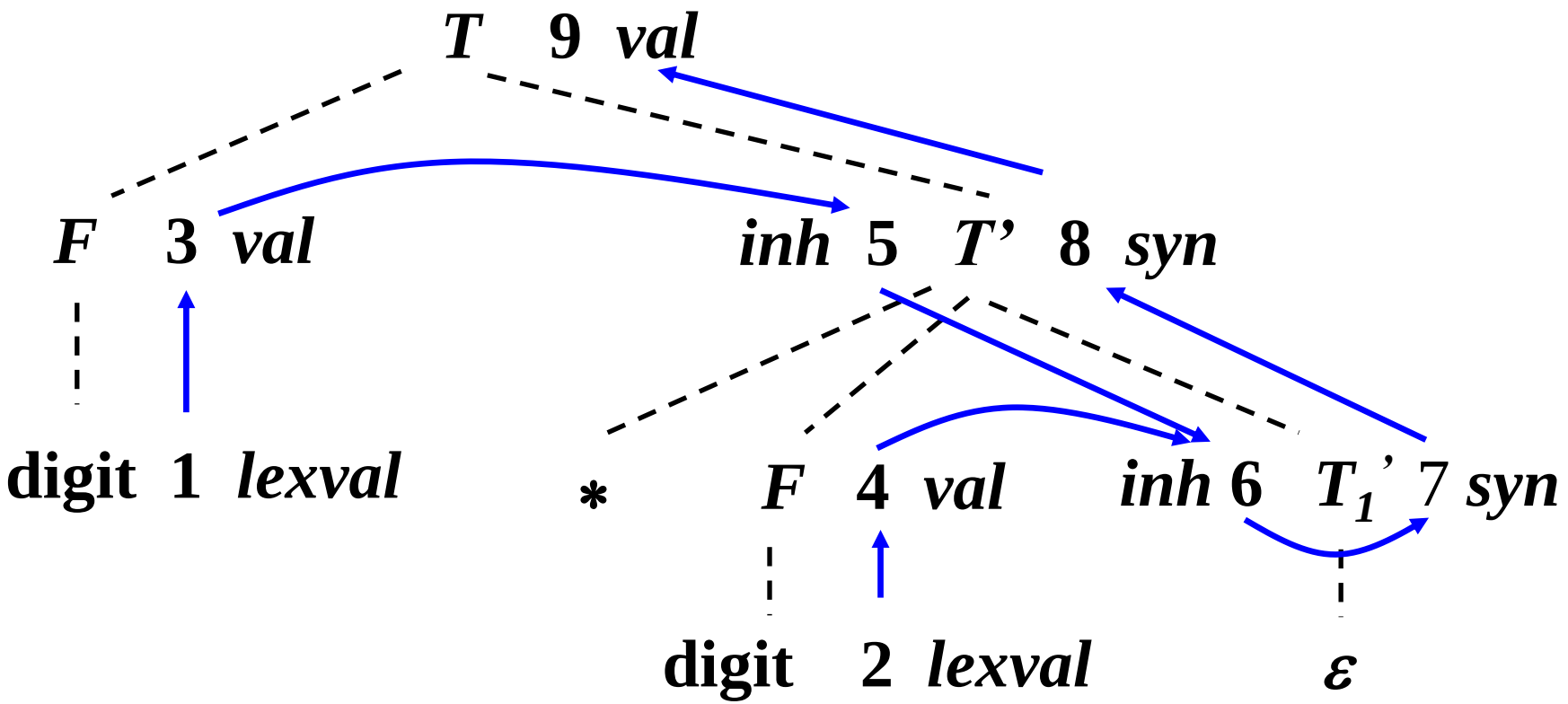


属性的计算次序

- **可行的求值顺序是满足下列条件的结点序列$N_1, N_2, \ldots, N_k$：**
  - 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，在节点序列中，N_i排在N_j前面
  - 该排序称为这个图的拓扑排序(topological sort)

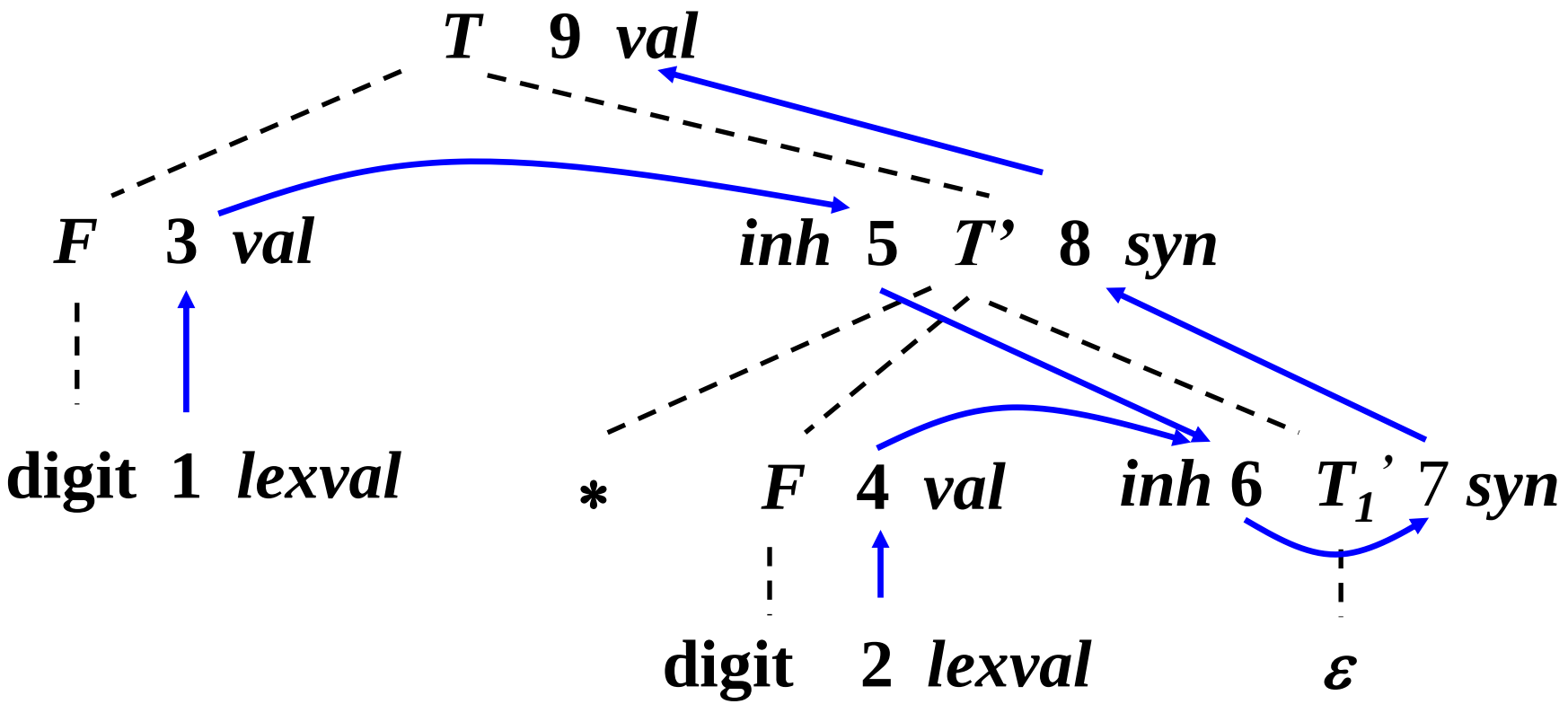
属性计算次序：举例

- 构造输入的分析树，构造属性依赖图，对结点进行拓扑排序，按拓扑排序的次序计算属性



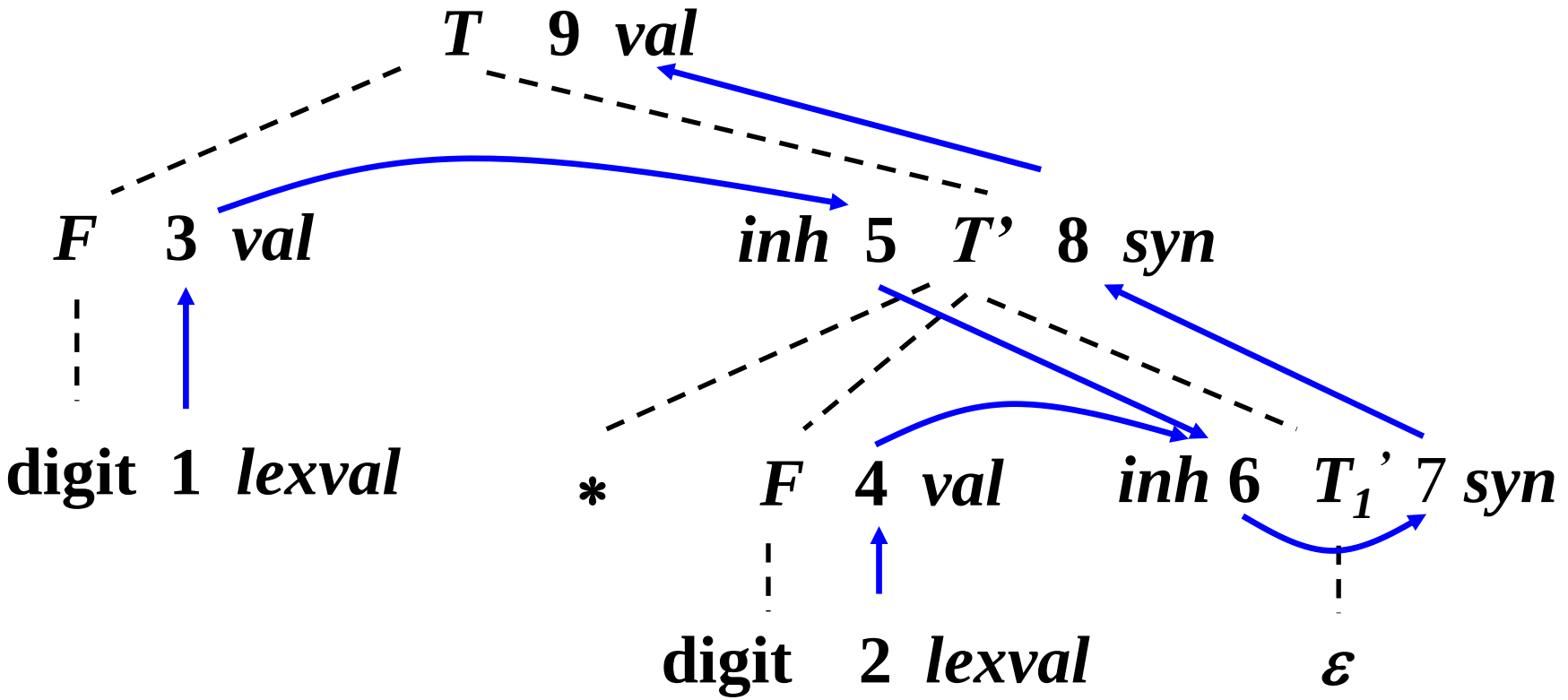
属性计算次序：举例

- **构造输入的分析树，构造属性依赖图，对结点进行拓扑排序，按拓扑排序的次序计算属性**
  - 可行排序一：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9



属性计算次序：举例

- **构造输入的分析树，构造属性依赖图，对结点进行拓扑排序，按拓扑排序的次序计算属性**
  - 可行排序一：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
  - 可行排序二：2, 4, 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9



属性计算的问题

- 依赖于拓扑排序
- 思考：在有向图中，什么时候拓扑排序不存在?

属性计算的问题

- **依赖于拓扑排序**
- **思考：在有向图中，什么时候拓扑排序不存在?**
  - 当图中出现环的时候
  - SDD的属性之间存在循环依赖关系

属性计算的问题

- **依赖于拓扑排序**
- **思考：在有向图中，什么时候拓扑排序不存在?**
  - 当图中出现环的时候
  - SDD的属性之间存在循环依赖关系
- **解决方案：**
  - 使用某些特定类型的依赖图不存在环的SDD
    - S属性的SDD和L属性的SDD

一起努力
打造国产基础软硬件体系！

李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

2023年10月07日