编译原理与技课程设计术

Email: wenshli@bupt.edu.cn
TEL: 62282929

课程设计的目的

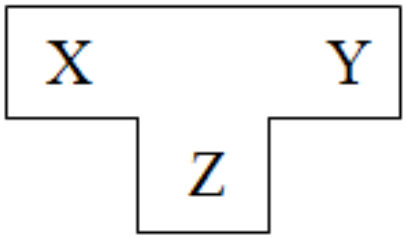
- 进一步掌握编译原理
  - 语法分析、语义分析、（中间）代码生成
- 通过课程设计，掌握编译技术
  - 基于自动机的分析技术、语法制导翻译技术
- 提高解决复杂工程问题的能力
  - 分析问题、问题分解
  - 解决方案、方案实施

内容

1. 编译程序的表示及实现
2. 课程设计任务与要求
   - 2.1 Pascal-S语言语法图
   - 2.2 Pascal-S语言文法产生式
   - 2.3 文法说明
   - 2.4 关于词法的约定
   - 2.5 课程设计建议
   - 2.6 测试
   - 2.7 开发方法
   - 2.8 设计报告要求
3. 教学安排

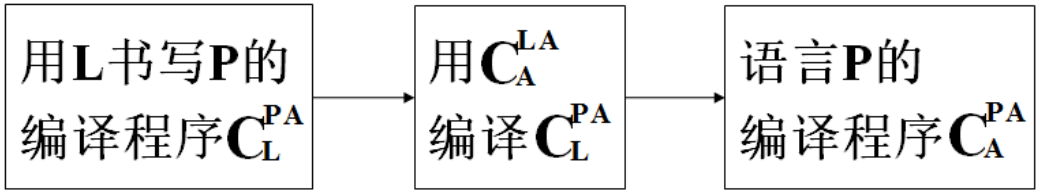
1. 编译程序的表示及实现

T 形图法：

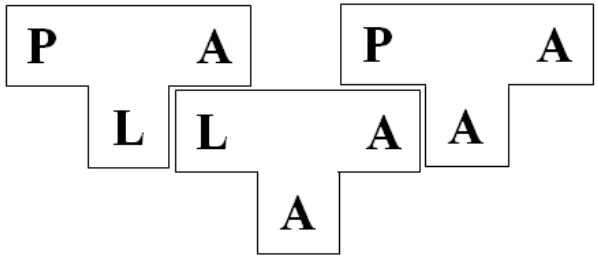


记号法：C_Z^{XY}

- 若在A机型上已有语言L的编译程序，用记号 C_A^{LA} 表示，由于L是自编译语言，所以可以用语言L来书写语言P的编译程序 C_L^{PA} ，再用 C_A^{LA} 编译 C_L^{PA} ，可以得到能够在A机上运行的语言P的编译程序 C_A^{PA} 。



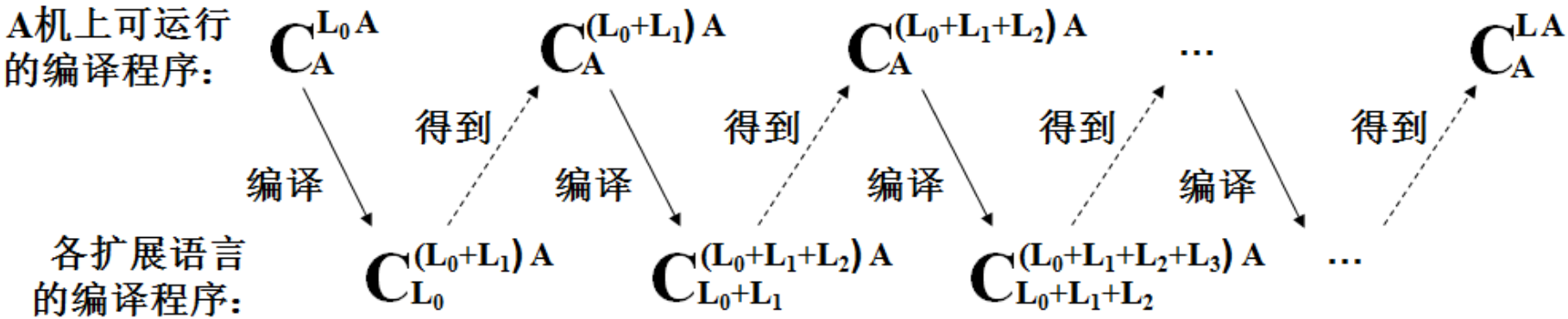
(a) 记号描述



(b) T形图表示

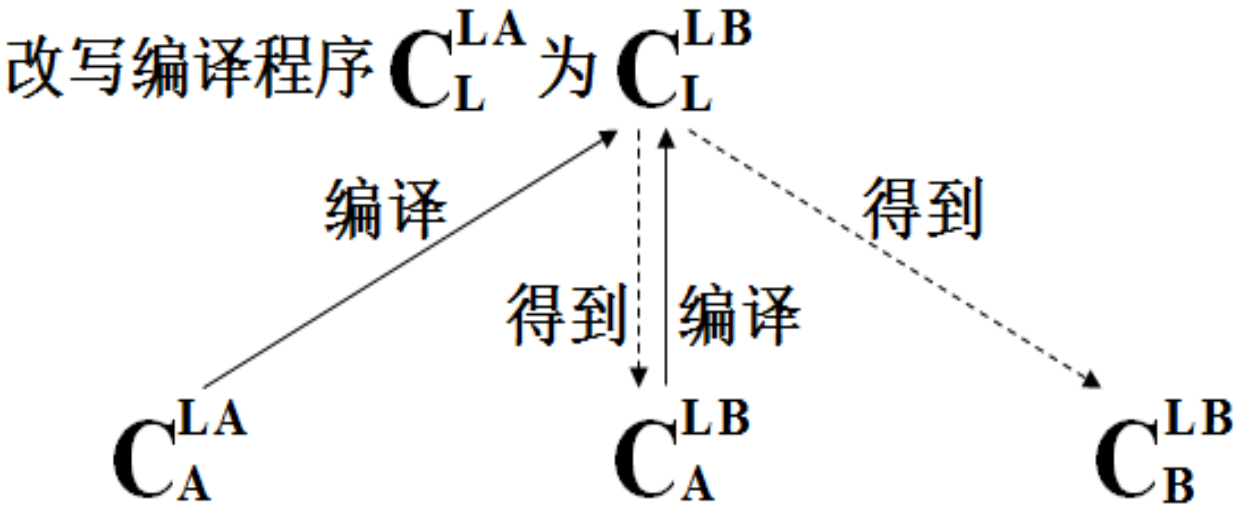
实现方法—自展法

- 有自编译语言L，通过自展的方法构造其在机器A上的编译程序 C_A^{LA} ：



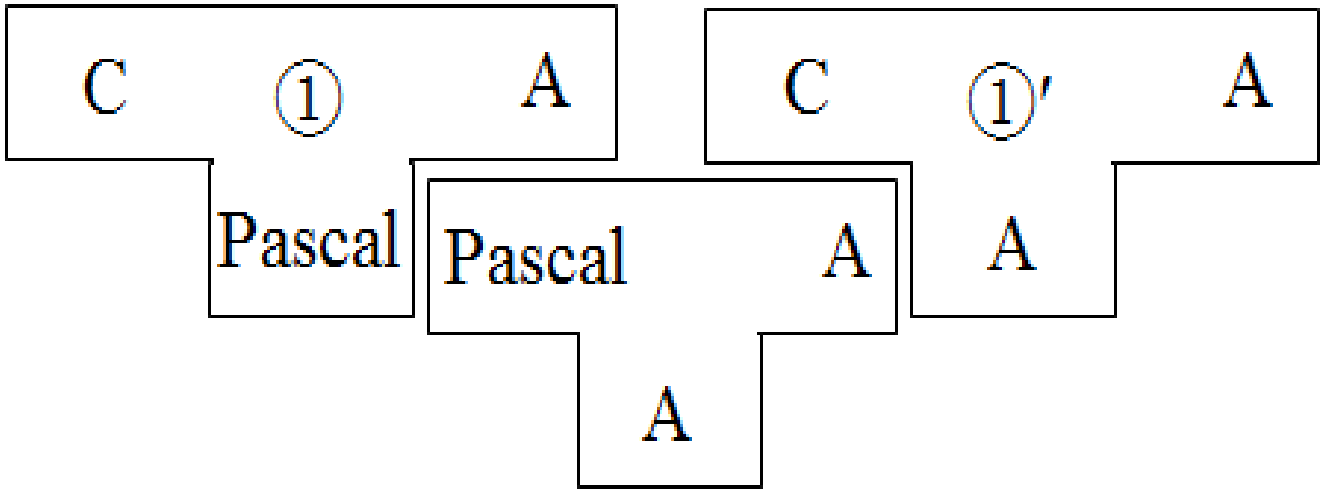
实现方法--移植法

- 若宿主机A上有用自编译高级语言L书写的语言L的编译程序 C_L^{LA}，以及可在A机上运行的语言L的编译程序 C_A^{LA}，那么，就可以将语言L的编译程序从A机移植到B机，即得到在B机上运行的语言L的编译程序 C_B^{LB}。



实现方法（T型图表示）

- 在A种机上已经有Pascal语言可用，如何使一种新的语言（如C语言）也可以在A机上使用？

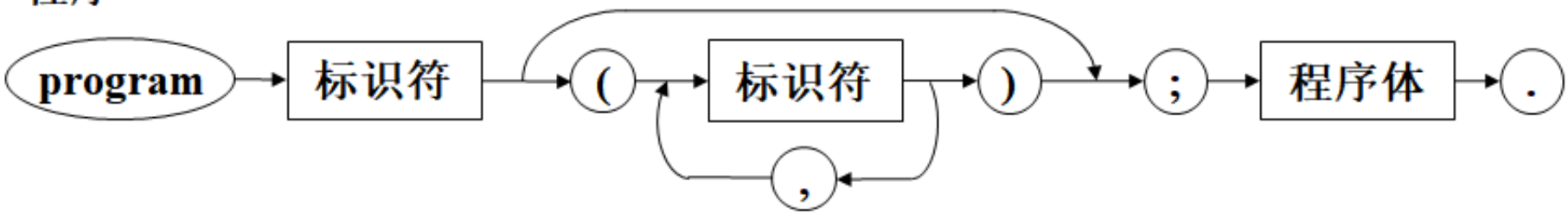


2. 课程设计任务说明

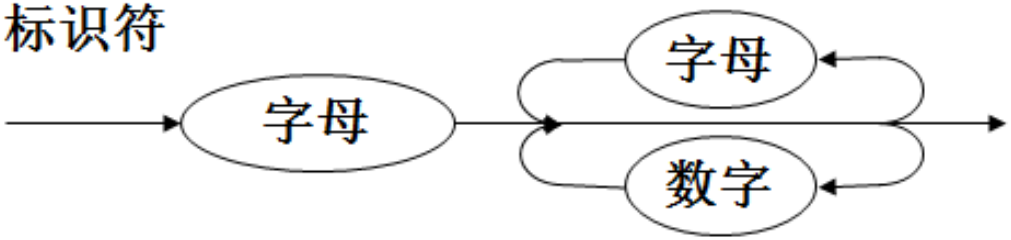
- 题目：Pascal-S语言编译程序的设计与实现
- 目标：
  按照所给Pascal-S语言的语法，参考Pascal语言的语义，设计并实现Pascal-S语言的编译程序。
- 要求给出各阶段的设计成果，如：
  - 需求分析报告
  - 总体设计报告（软件功能描述、功能模块划分、软件结构图、符号表结构设计、模块间接口定义等）
  - 详细设计报告（模块功能、输入/输出、处理逻辑等）
  - 编码实现（源程序、可执行程序）
  - 测试报告（测试计划、测试用例、测试结果及分析等）

2.1 Pascal-S语言语法图（1/ 8）

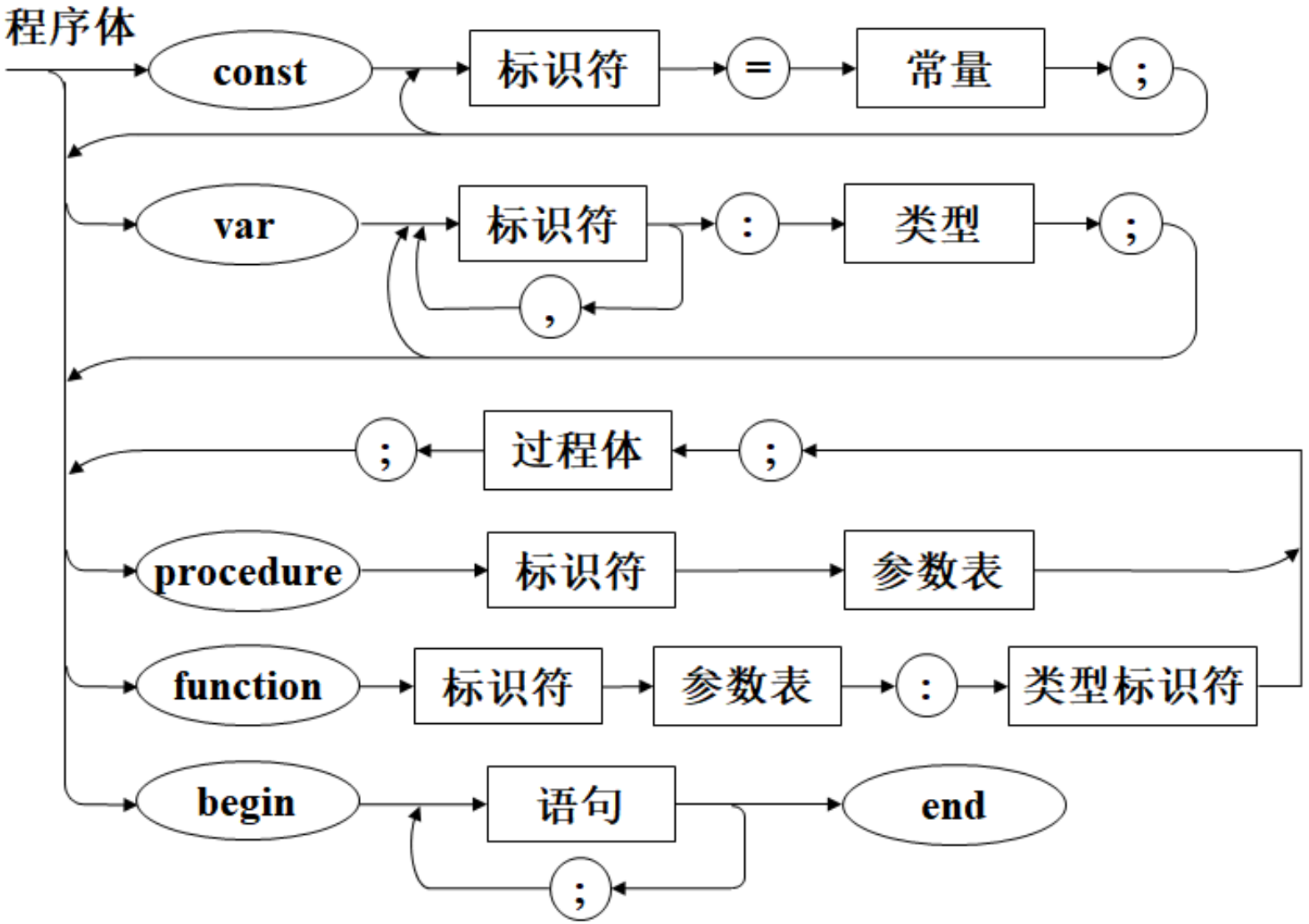
程序



标识符

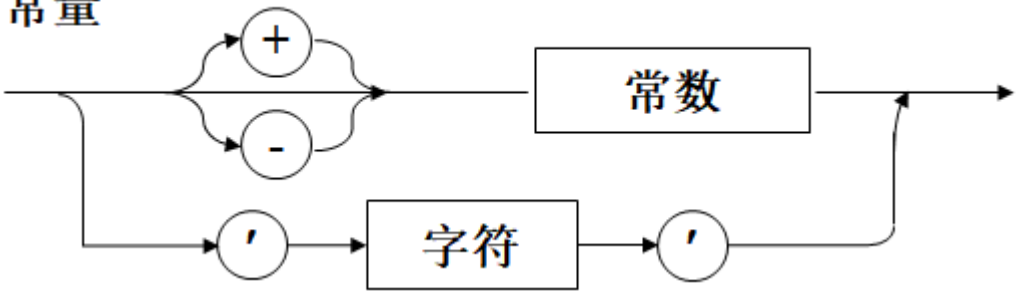


Pascal-S语言语法图（2/8）

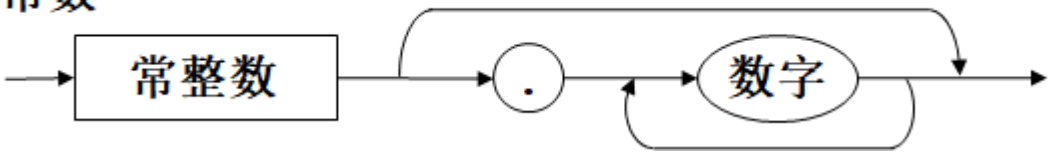


Pascal-S语言语法图（3/8）

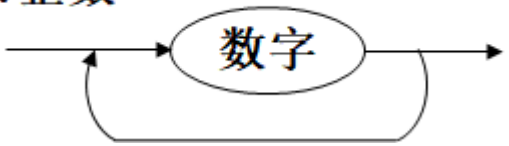
常量



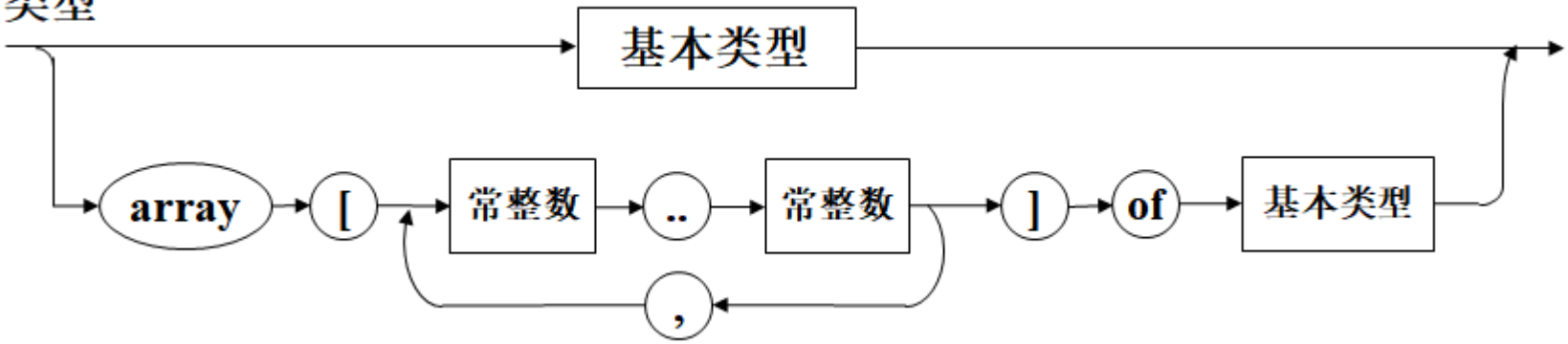
常数



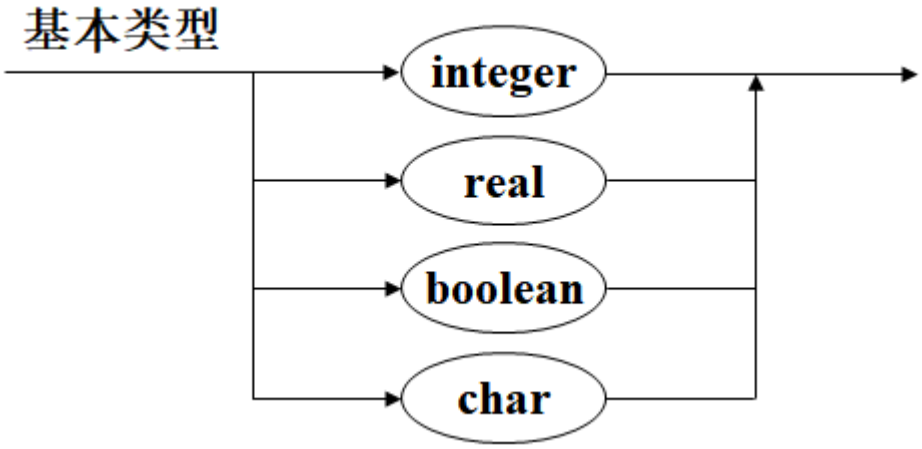
常整数

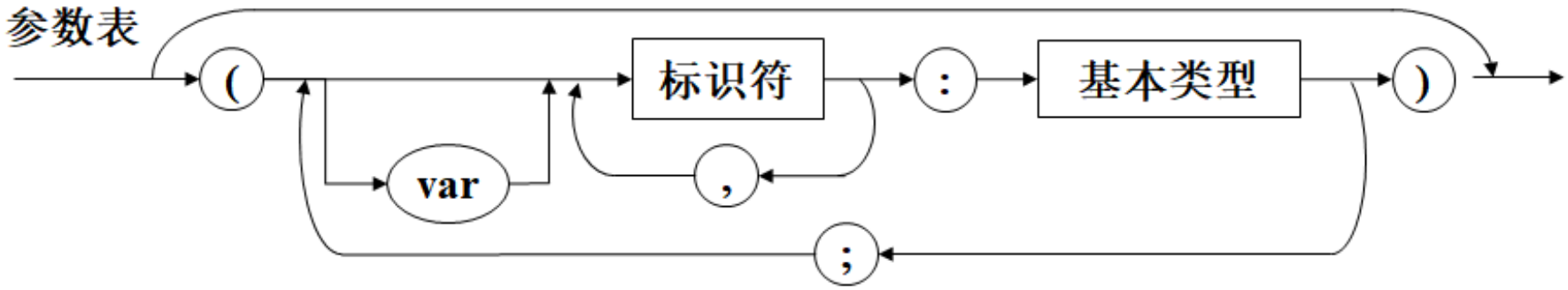


类型

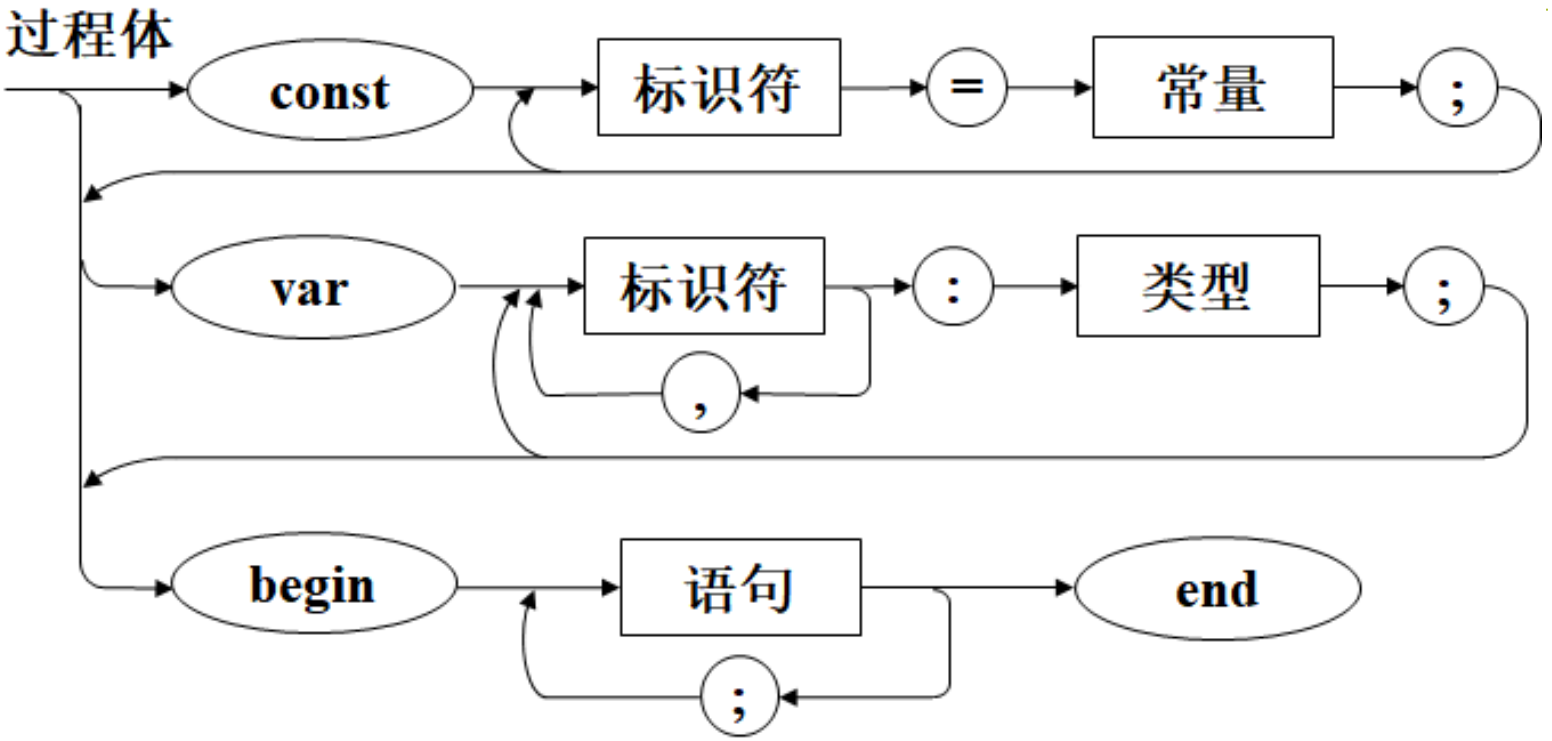


Pascal-S语言语法图（4/8）

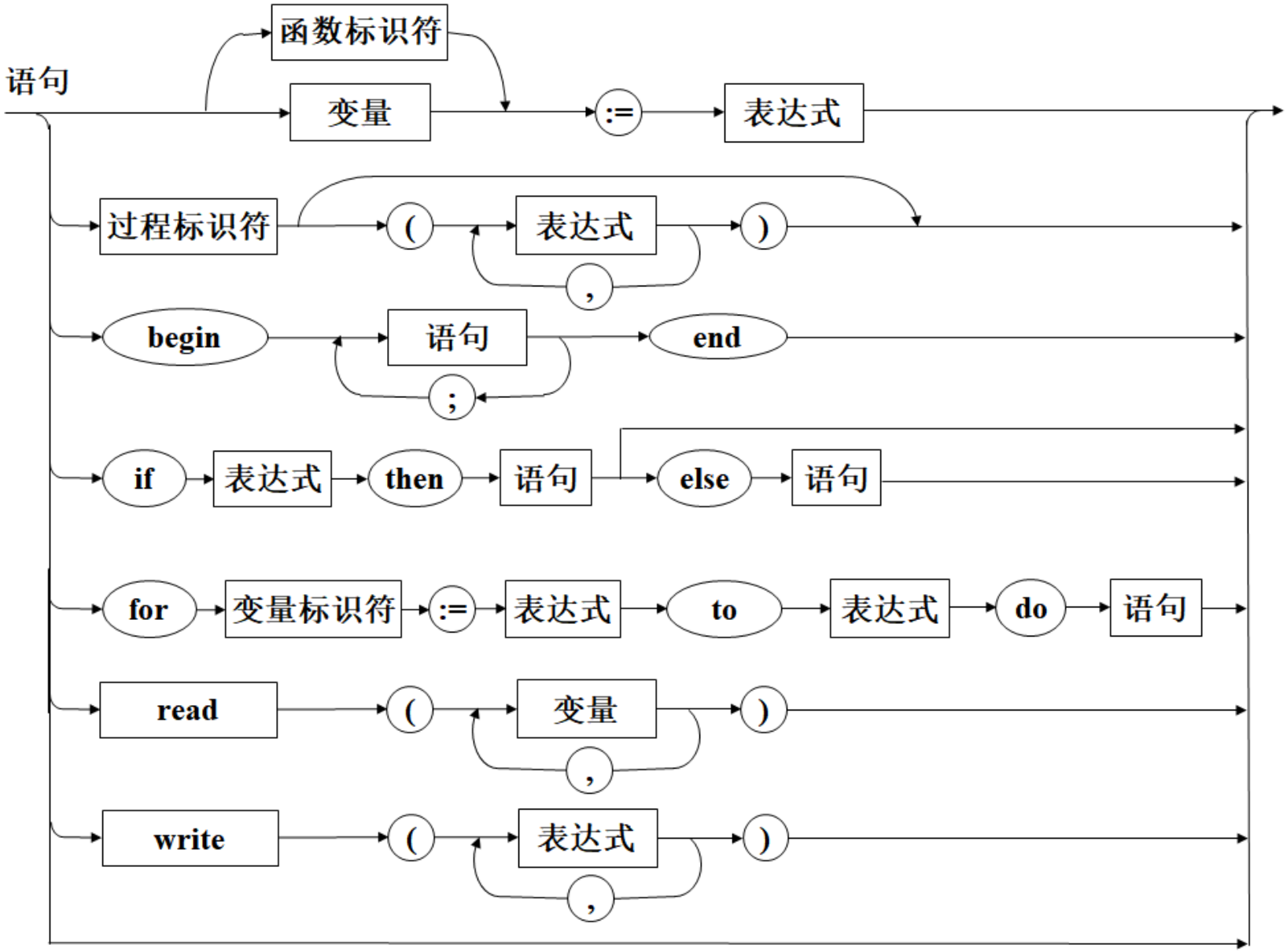




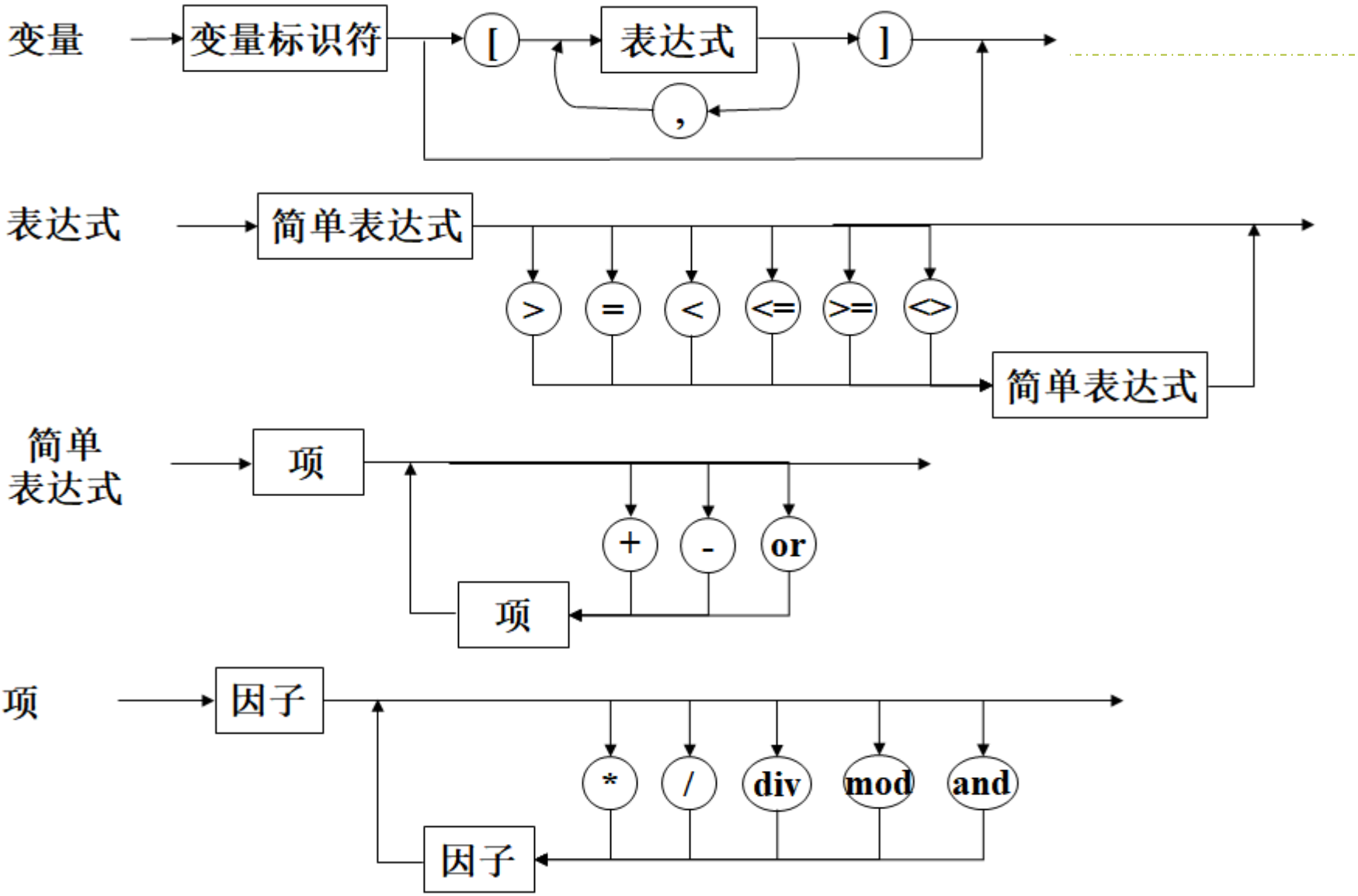
Pascal-S语言语法图（5/8）



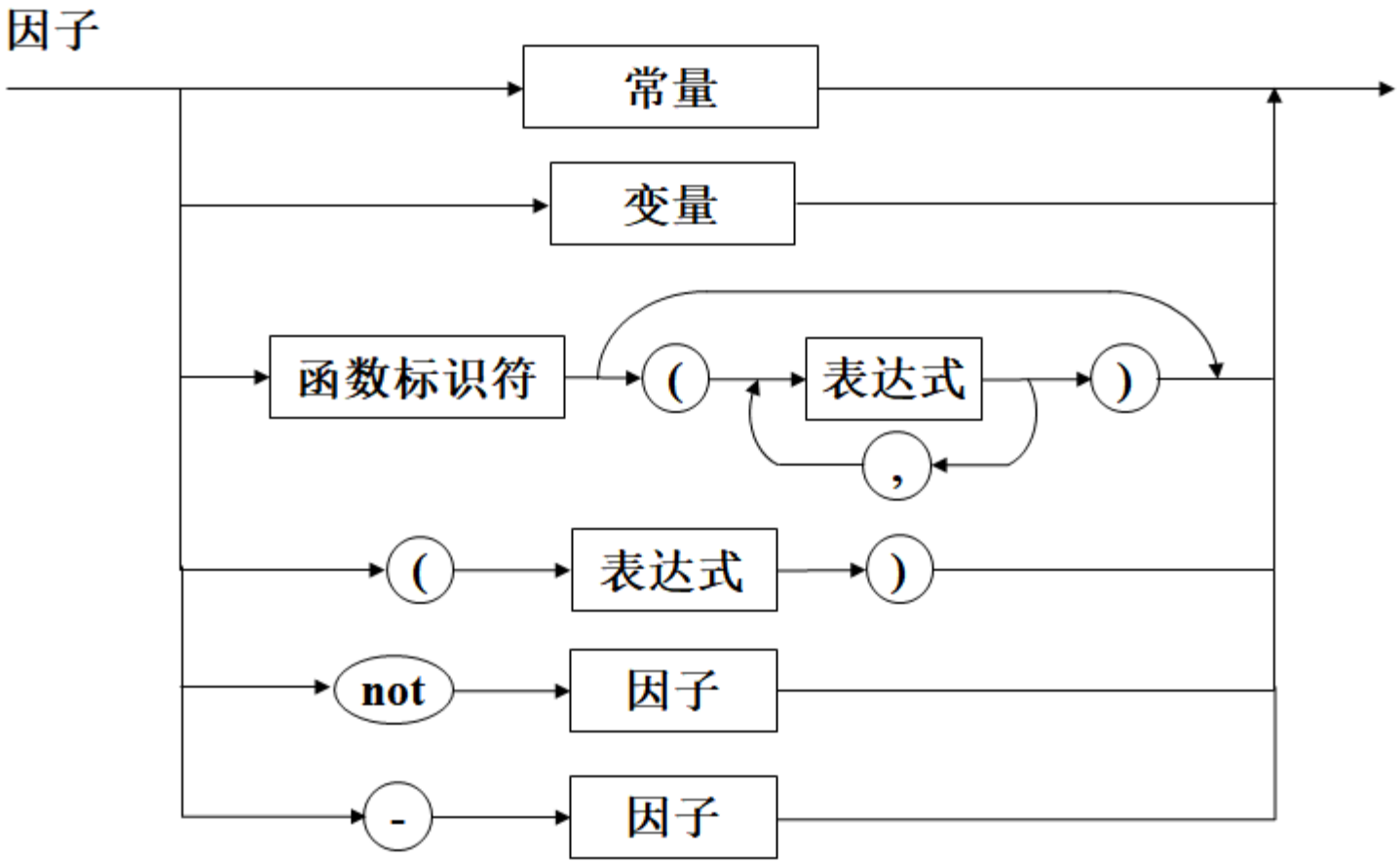
Pascal-S语言语法图（6/8）



Pascal-S语言语法图（7/8）



Pascal-S语言语法图（8/8）



2.2 Pascal-S语言文法产生式(1/8)

- *programstruct* → *program_head* ； *program_body* **.**
- *program_head* → **program id (** *idlist* **) | program id**
- *program_body* → *const_declarations*

  var_declarations

  subprogram_declarations

  compound_statement
- *idlist* → *idlist* **, id | id**

Pascal-S语言的文法产生式(2/8)

- *const_declarations* → **const** *const_declaration* **;**

  | ε

- *const_declaration* → *const_declaration* **;** **id** = *const_value*

  | **id** = *const_value*

- *const_value* → + **num** | - **num** | **num**

  | **'letter'**

Pascal-S语言的文法产生式(3/8)

- *var_declarations* → **var** *var_declaration* **;**
  | **ε**
- *var_declaration* → *var_declaration* **;** *idlist* **:** *type*
  | *idlist* **:** *type*
- *type* → *basic_type*
  | **array [** *period* **]** **of** *basic_type*
- *basic_type* → **integer** | **real** | **boolean** | **char**
- *period* → *period* **,** **digits .. digits**
  | **digits .. digits**

Pascal-S语言的文法产生式(4/8)

- *subprogram_declarations* → *subprogram_declarations* *subprogram* **;**
  | **ε**
- *subprogram* → *subprogram_head* **;** *subprogram_body*
- *subprogram_head* → **procedure id** *formal_parameter*
  | **function id** *formal_parameter* **:** *simple_type*
- *formal_parameter* → **(** *parameter_list* **)**
  | ε
- *parameter_list* → *parameter_list* **;** *parameter*
  | *parameter*

Pascal-S语言的文法产生式(5/8)

- *parameter* → *var_parameter* | *value_parameter*
- *var_parameter* → **var** *value_parameter*
- *value_parameter* → *idlist* **:** *simple_type*
- *subprogram_body* → *const_declarations*
  var_declarations
  compound_statement
- *compound_statement* → **begin** *statement_list* **end**
- *statement_list* → *statement_list* **;** *statement*
  | *statement*

Pascal-S语言的文法产生式(6/8)

- *statement* → *variable* **assignop** *expression*
  - | *procedure_call*
  - | *compound_statement*
  - | **if** *expression* **then** *statement* *else_part*
  - | **for id assignop** *expression* **to** *expression* **do** *statement*
  - | **read (** *variable_list* **)**
  - | **write (** *expression_list* **)**
  - | **ε**

Pascal-S语言的文法产生式(7/8)

- *variable_list* → *variable_list* **,** *variable*

  | *variable*

- *variable* → **id** *id_varpart*
- *id_varpart* → **[** *expression_list* **]** | **ε**
- *procedure_call* → **id** | **id (** *expression_list* **)**
- *else_part* → **else** *statement* | **ε**

Pascal-S语言的文法产生式(8/8)

- *expression_list* → *expression_list* , *expression* | *expression*
- *expression* → *simple_expression* **relop** *simple_expression*
  | *simple_expression*
- *simple_expression* → *simple_expression* **addop** *term* | *term*
- *term* → *term* **mulop** *factor* | *factor*
- *factor* → **num**
  | *variable*
  | **id** (*expression_list*)
  | (*expression*)
  | **not** *factor*
  | **uminus** *factor*

2.3 文法说明

- 该文法是一个LALR(1)文法。
  - 可以采用LR分析方法；
  - 也可以对文法消除左递归后，采用递归下降分析法。
- 该文法产生的每一个句子都是一个Pascal-S程序。包括：
  - 若干个全局常量的声明语句，const ……
  - 若干个全局变量的声明语句，var ……
  - 若干个过程和/或函数的定义，procedure / function
  - 以及作为主程序体的复合语句。begin …… end
- 过程和函数定义不允许嵌套。
- 复合语句允许嵌套。
- 过程和函数都可以递归调用。
- 参数传递方式：传值调用和引用调用（传地址）

程序示例：

```
program example(input, output);
    var x, y: integer;
    function gcd(a, b: integer): integer;
        begin
            if b=0 then gcd:=a
            else gcd:=gcd(b, a mod b)
        end;
    begin
        read(x, y);
        write(gcd(x, y))
    end.
```

文法说明(续)

- 注意：产生式 ***factor*→id**
  id既可以是函数名，也可以是常量名、简单变量名。
  对无参数函数的调用和引用简单变量的值，在语法上没有区别。
  例如，对于赋值语句 **a:=b**
  - 如果 b 是常量名，则把 b 的值赋予 a；
  - 如果 b 是简单变量，则把 b 的右值赋予 a；
  - 如果 b 是函数，则把函数 b 的返回值赋予 a。

2.4 关于词法的约定

- 源程序中的关键字（除开头的 **program** 和末尾的 **end** 之外）前、后必须有空格符或换行符，其它单词间的空格符是可选的。
- 源程序中的注释：用一对花括号括起来，可以出现在任何单词之后。
  - {……}
  - 编译程序应该可以处理注释。
- 标识符的记号 **id**，匹配以字母开头的字母数字串。定义为：

  letter → [a-zA-Z]

  digit → [0-9]

  id → **letter** (**letter** | **digit**) *
  - 对其最大长度可以规定一个限制。

关于词法的约定（续）

- “常数”的记号 **num**，匹配整型常数或实型常数。定义为：

  digits→ digits digit | digit

  optional_fraction→ . digits ｜ ε

  num→digits optional_fraction

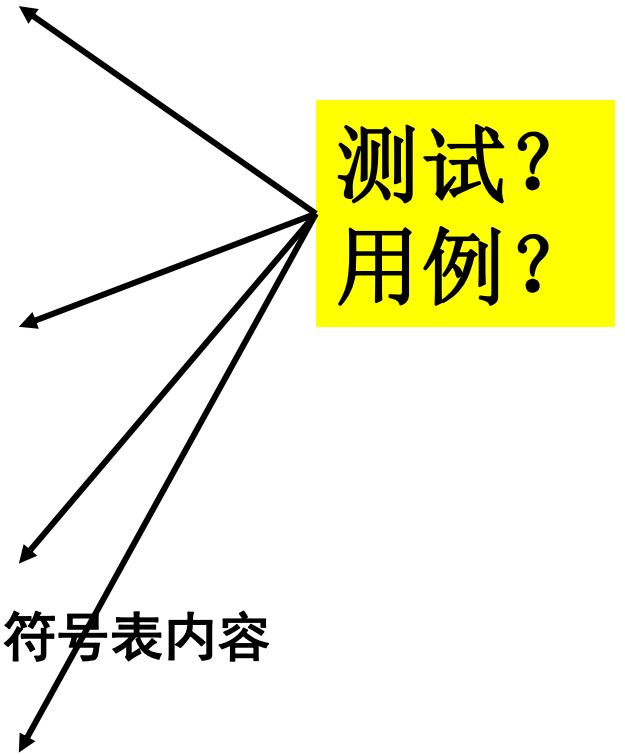
- 关键字作为保留字。
- 关系运算符 **relop** 代表

  =、<>、<、<=、>、>=

- **addop** 代表运算符 +、- 和 **or**
- **mulop** 代表运算符 *、/、**div**、**mod** 和 **and**
- **assignop** 代表赋值号 :=

2.5 课程设计建议(1/7)

- 详细的需求分析
  - 词法分析
    - 单词种类、单词模式、右线性文法
    - 注释、分隔符
    - 错误
  - 语法分析
    - 语法结构、语法错误类型？
    - 文法，分析方法选择
    - 改写文法（扩展、简化？）
  - 语义分析
    - 类型、类型表示、类型检查、作用域、符号表内容
  - 代码生成
    - 目标语言、源/目标语言的映射关系



课程设计建议(2/7)

- 软件总体设计
  - 软件功能（功能模块划分）
  - 软件结构（功能模块之间的关系）
    - 递归调用函数
    - LR分析技术
      - YACC
      - 手工编码
  - 模块之间的接口
    - 数据结构
    - 文件
  - 符号表设计（内容、逻辑结构）
  - 错误处理（恢复策略）

语法制导定义
/
翻译方案

课程设计建议(3/7)

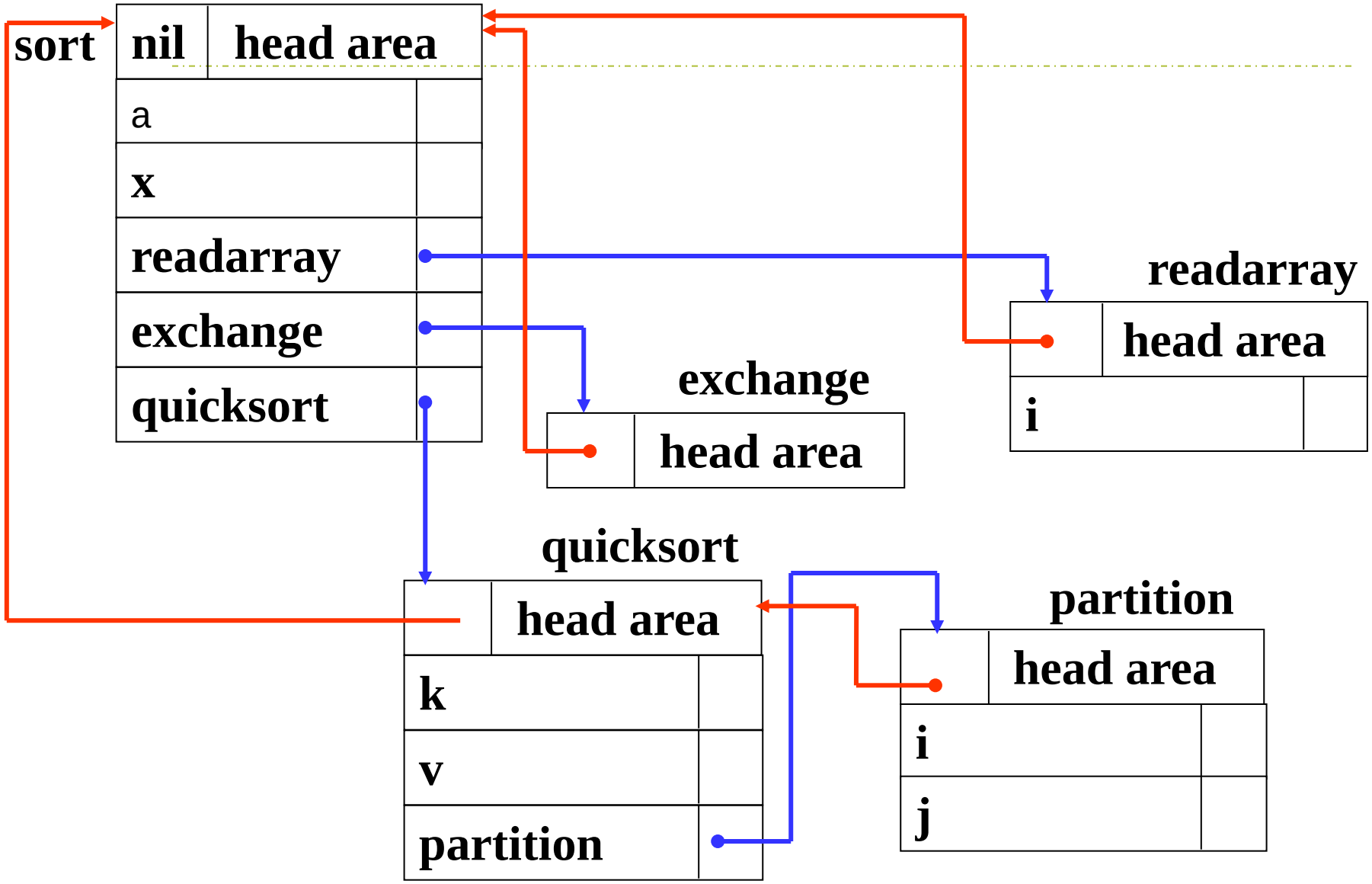
- **符号表结构及其管理程序的设计**
  - 首先设计符号表的结构，允许在编译的各个阶段填入或查找关于名字的相关信息。
    - 名字、类型（常量名及值？变量值存在？变量值？ ）
    - 数组（维数、上下界）
    - 函数（参数个数、参数类型、传递方式）
  - 管理程序
    - 查找操作：按给定的名字查表。
    - 插入操作：在表中建立新的一行。
    - 定位操作：创建符号子表，确定一个新作用域的起点。
    - 重定位操作：从符号表中“删除”局部于当前过程的所有名字，退出当前作用域。

参考：符号表的逻辑结构

```
program sort (input,output);
  var a : array[0..10] of integer;
      x : integer;
procedure readarray;
    var i : integer;
    begin
      for i:=1 to 9 do read(a[i])
    end;
procedure exchange (i,j:integer)
    begin
     x:=a[i]; a[i]:=a[j];   a[j]:=x
    end;
```

```
peocedure quicksort (m,n:integer);
    var k,v : integer;
function partition (y,z :integer):integer;
    var i,j : integer;
    begin       …a…;    …v…;
        exchange(i,j);       ……
    end;
    begin   ……
            k=partition(m,n);
            quicksort(m,k-1);
            quicksort(k+1,n);   ……
  end;{quicksort}
begin readarray; quicksort(1,9)
 end. {sort }
```

参考：符号表的逻辑结构


sort
nil
head area
a
x
readarray
exchange
quicksort
readarray
head area
i
exchange
head area
quicksort
head area
k
v
partition
partition
head area
i
j

课程设计建议（4/7）

- **词法分析器的详细设计**
  - 首先确定单词符号的种类，给出每类单词的文法。
  - 确定有哪些关键字；
  - 考虑并确定每类单词的内部编码及其属性值（给出翻译表）。
  - 考虑每个单词在源程序中出现的位置信息（行/列），用于向用户提供错误定位信息。
  - 把词法分析器作为语法分析器调用的函数，词法分析器返回词汇的类别编码和属性值。

课程设计建议（5/7）

- **语法分析器的详细设计**
  - 选择适当的分析方法
    - 自顶向下的预测分析方法（消除左递归）
    - 自底向上的LR分析方法
  - 手工设计语法分析器。
    - 预测分析方法
      消除左递归，给出消除左递归之后的文法。（程序、手工？）
      构造预测分析表。（程序、手工？）
      编码实现预测分析程序。
    - LR分析方法
      构造LALR(1)分析表。（程序、手工？）
      编码实现LR分析程序。
  - 用YACC工具实现。

课程设计建议（6/7）

- **语义动作和翻译程序的详细设计**
  - 按照语言的语义规则设计语义子程序。为了便于语法制导翻译，需要对给定的文法进行改造，要注意数据类型的相容性，必要时要进行数据类型转换(如inttoreal)。
  - 注意：
    - 需要进行类型检查
    - 选择目标语言，汇编、**C（建议C）**
    - 若选C语言作为目标语言，设计Pascal-S语言与C语言之间的对应关系，语义动作，写出翻译方案。
    - 若选汇编语言作为目标语言，用三地址代码或四元式组作为中间表示，在写程序之前，先设计Pascal语言与中间语言、中间语言与汇编语言之间的对应关系，语义动作，写出翻译模式。

课程设计建议（7/7）

- **代码生成程序的详细设计**
  - 用C语言作为目标语言，可以直接从源程序生成目标程序，省去中间代码生成部分。
    但是，由于Pascal-S程序和C程序的结构不完全一致，故不能逐句翻译输出。
  - 采用汇编语言作为目标语言，以Intel机器作为目标机器，利用教材中介绍的目标代码生成算法。
- **错误处理与恢复**
  - 在词法分析、语法分析、语义分析、代码生成等各个过程中都要考虑错误的处理与恢复。
  - 分析错误类型、错误原因、错误处理
  - 打印错误位置、错误信息。
  - 如有可能，应对错误进行恢复，并继续进行编译。

2.6 测试（1/3）

- 根据需求分析的结果，制定测试计划，设计测试用例。
- 根据测试用例对所实现编译程序进行测试，记录测试结果，并进行分析。
- 错误检测和处理
  - 设计含有各类错误的测试用例源程序。
  - 用所实现的编译器对测试用例程序进行编译。
  - 展示错误检查、恢复结果。
  - 白盒测试
  - 黑盒测试
- 编译下面的源程序example。
  - 记录生成的目标程序。
  - 对目标程序进行编译运行，记录运行结果。

测试（2/3）

```
program example(input,output);
    var x,y:integer;
    function gcd(a,b:integer):integer;
        begin
            if b=0 then gcd:=a
            else gcd:=gcd(b, a mod b)
        end;
    begin
        read(x, y);
        write(gcd(x, y))
    end.
```

测试（3/3）

- 用Pascal-S语言编写快速排序程序。
  - 用所实现的编译器对快速排序程序进行编译，输出/保存所生成的目标程序。
  - 对目标程序进行编译、运行，输出/保存运行结果。
  - 要求：可以随机输入待排序的数据。

2.7 开发方法

- 遵循软件工程的思想，分阶段开发，分阶段测试。
  - 先进行需求分析和总体设计
  - 需求分析：重点分析编译程序的功能需求。
  - 总体设计：主要包括分析方法的选择、软件功能结构及模块划分、模块间接口的定义(包括全局数据结构的定义)。
  - 然后根据软件功能划分，进行组员分工。
  - 保证每个局部结果的正确，保证最终结果的正确。
- 开发过程中采用“滚雪球”的方法
  - 使工作顺利进行
  - 企图一步到位，往往欲速则不达。

2.8 设计报告要求

1. 课程设计题目
2. 课程设计目标和要求
3. 需求分析，包括：数据流图、功能及数据说明等
4. 开发环境
5. 总体设计说明，包括：
   1）数据结构设计
   2）总体结构设计：包括
      功能模块的划分
      模块功能
      模块之间的关系
      模块之间的接口
   3）用户接口设计
6. 各部分的详细设计说明，包括：
   接口描述
   功能描述
   所用数据结构说明
   算法描述
7. 程序清单
   注意编程风格，如：
   使用有意义的变量名、程序的缩排、程序的内部注释
8. 测试报告，包括：
   1）测试环境
   2）测试计划
   3）针对每个功能的测试情况，包括：测试用例、预期的结果、测试结果及其分析
   在设计测试计划时，不但要考虑正确的测试用例，还要考虑含有错误的测试用例。
9. 实验总结
   1）实验中遇到或存在的主要问题
   2）改进建议
   3）体会/收获

3. 课程设计安排（1/5）

- 分组
  - 5至6人一组，自由组合。
  - 每组选定一名项目组长
    - 负责管理项目的进度、质量
    - 负责组员的任务分配、沟通、协调
    - 完成自己承担的任务
- 要求：
  - 每个人的任务明确，相对独立。
  - 每个成员必须承担一定的功能模块设计开发工作。
  - 整理文档是每个组员任务的一部分。
  - 每个组员完成自己所编写模块的单元测试。
  - 组长统筹安排软件的集成测试。

课程设计安排（2/5）

- 分工建议
  - 词法分析+编写测试用例：1人
  - 语法分析
    - 手工编码：1-2人
  - 语义分析：
    - 手工编码：1-2人
    - YACC：语法+语义：1-2人
  - 代码生成：1-2人

课程设计安排（3/5）

- 验收时间、地点及要求
  - 时间：
    - 7月11日，上午，08:00-12:00，301班
    - 7月11日，下午，13:30-17:30，302班
    - 7月12日，上午，08:00-12:00，305班
  - 地点：教2-301
  - 要求：
    - 项目小组成员全部参加，否则，不予验收。
    - 验收时提交相关资料。
    - 没有按时参加验收的同学，按“缺考”计。

课程设计安排（4/5）

- 验收时，需要提交以下资料（电子版）：
  1. 课程设计表格（分组表，见附件1，填写完整）
  2. 课程设计报告（详细报告，见附件2）
  3. 程序及其使用说明，包括：
     （1）源程序
     （2）可运行程序
     （3）测试用例程序
     （4）程序使用说明
- 验收时，携带填写完整并打印好的附件3《验收登记表》
  - **如发现抄袭，一律按0分计。**

课程设计安排（5/5）

- 验收内容及过程：
  - 讲解符号表的内容和结构、在符号表上的操作（查找、插入、定位、重定位）
  - 词法分析：翻译表、注释的处理、与语法分析器的接口等
  - 语法分析：实现方法，能检测哪些语法错误？输出？
  - 语义分析：实现方法，支持哪些类型？实现了哪些类型检查？表达式、数组？参数？函数/过程调用？语句？
  - 代码生成：输入？采用的技术？算法思想？
  - 错误处理与恢复策略
  - 运行程序，演示测试用例的编译过程和结果

  要求：每个人讲解自己完成的工作内容，必要时需要讲解所编写的功能代码。
  - 查看设计文档

4. 成绩评定

- 小组基准成绩评定：
  - 软件完成情况：50
    - 完成的功能
    - 运行过程、结果可视化展示
  - 验收答辩：30
  - 文档：20
    - 正确性、与程序的一致性。
- 小组成员成绩
  - 视小组成员完成工作情况，上下浮动。
  - 各组提供成员的贡献率/排名
- 组与组比较，根据各组工作的难易程度适当浮动成绩。
  - 有能力的同学可以把子集扩大，如增加类型（如：record）、语句（如：while），进行代码优化等。
  - 也可以对所给语言子集进一步缩减，比如去掉参数的引用调用。

希望大家通过本次教学实践：

理解、掌握编译原理和技术

提高编程能力

谢　谢！