



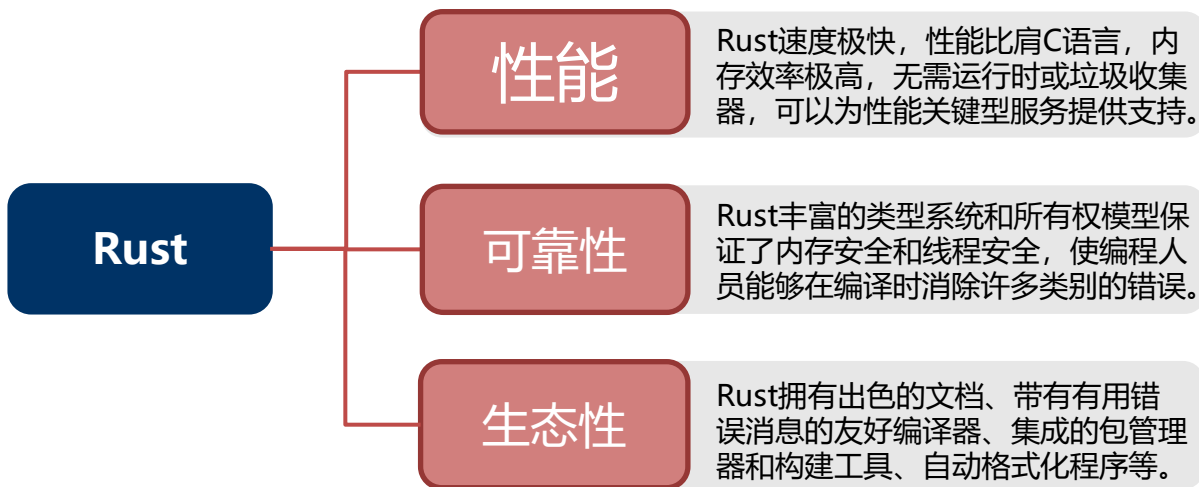
编译原理

编译原理课程设计

丁志军

dingzj@tongji.edu.cn

类Rust编译器实现



Rust是一门能够安全高效地编写系统级程序的语言，在内存安全方面具有显著优势。



知名问答平台StackOverflow的调查表明，自2015年以来，Rust一直是开发者最爱的编程语言。

nature

《Nature》杂志2020年尾的文章《Why Scientists are Turning to Rust》中也强调：科学家极为推崇Rust。

华为是五位Rust基金会创始白金会员成员之一，引领了Rust语言的发展。

华为内部使用

- Rust 广泛用于嵌入式系统开发、系统驱动、云计算、虚拟存储、网络传输协议、并发编程框架基础库等产品中。
- 华为实验室正基于 Rust 探索先进的代码解析、安全分析等工具。

Rust社区贡献

- 华为深度参与了在Rust社区中，贡献了包括C到Rust转换、内联汇编、交叉编译、Parking Lot并发库、SIMD 基础库、文档导航、代码多态化、热补丁、AOP等特性。

Rust中国推广

- 华为战略支持了在中国举办的Rust China Conf大会，并推行多项社区活动。
- 华为也为中国的开发者提供Rust教程和Rust编码规范等。

课程设计的目的

- 1. 掌握使用高级程序语言实现一个**一遍完成的**、简单语言的编译器的方法；
- 2. 掌握简单的词法分析器、语法分析器、符号表管理、中间代码生成以及目标代码生成的实现方法；
- 3. 掌握将生成代码写入文件的技术。

课程设计的要求

- 1. 使用高级程序语言作为实现语言，实现一个类Rust语言的编译器。编码实现编译器的组成部分。
- 2. 要求的类Rust编译器是个一遍的编译程序，词法分析程序作为子程序，需要的时候被语法分析程序调用；
- 3. 使用语法制导的翻译技术，在语法分析的同时生成中间代码，并保存到文件中。
- 4. 要求输入类Rust语言源程序，输出中间代码表示的程序；
- 5. 要求输入类Rust语言源程序，输出目标代码(可汇编执行)的程序。

提交的文档

- 1. 编译器源程序
- 2. 编译器可执行程序
- 3. 设计说明书
 - ① 系统方案设计说明
 - ② 程序功能描述
 - ③ 程序具体实现：主要算法、基本框图、主要模块、功能函数等
 - ④ 执行界面和运行结果
 - ⑤ 设计中遇到的问题及解决方法或设计体会

- 需求分析能力20%
- 系统方案（算法）设计能力20%
- 编程能力30%
- 撰写报告能力30%
- 实现了绿色节点，完成目标代码生成，至多是良；完成以下要求，可以申请优秀：

以下规则任选其一：

- 2.3
- 4.2

且

以下组别任选其二：

- 5.2、5.3、5.4；
- 6.1、6.2；
- 7.1、7.2、7.3；
- 8.1、8.2；
- 9.1、9.2。

考核方法

- **设计报告+答辩**

- **提交打印的设计说明书一份**

- **相关电子文档，包括设计说明书+源程序+可执行程序等**

- **申请优秀者须参加线上答辩**

- **线上答辩时间：讲解5分钟+演示（录屏）1分钟+提问2-4分钟**

上交形式和时间

- **设计说明书一份**
- **含源代码、可执行代码和设计说明书文档的电子文档**
- **提交时间：截止7月30日**
- **线上答辩时间：8月1日**

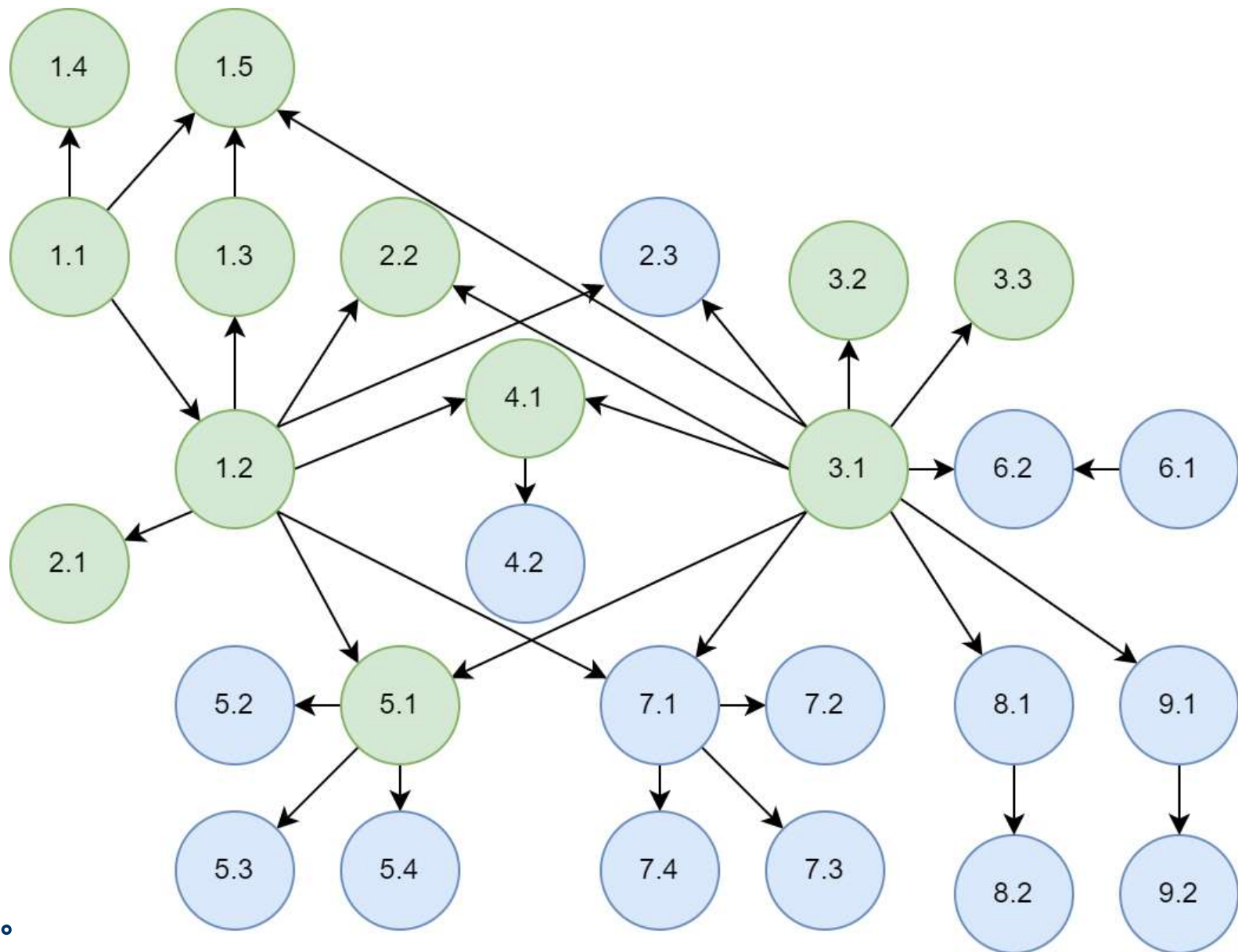
类Rust语法和语义规则

绿色节点为基础规则：

0.1、0.2、0.3、
1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、
2.1、2.2、3.1、3.2、3.3、
4.1、5.1。

蓝色节点为拓展规则：

2.3、4.2、5.2、5.3、5.4、
6.1、6.2、7.1、7.2、7.3、7.4
8.1、8.2、9.1、9.2。



注：0.1、0.2、0.3未在图中画出。

类Rust语法和语义规则

➤ 1.1 基础程序

- Program -> <声明串>
- <声明串> -> 空 | <声明> <声明串>
- <声明> -> <函数声明>
- <函数声明> -> <函数头声明> <语句块>
- <函数头声明> -> fn <ID> '(' <形参列表> ')'
- <形参列表> -> 空
- <语句块> -> '{' <语句串> '}'
- <语句串> -> 空

语义说明：定义了一个最基础的程序结构，支持声明若干个函数，每个函数无参数且函数体为空。

```
fn program_1_1() {  
  
}
```

➤ 0.1 变量声明内部

- <变量声明内部> -> mut <ID>

语义说明：声明变量为可变变量，如果变量为不可变变量，则不可以二次赋值。

➤ 0.2 类型

- <类型> -> i32

语义说明：支持基础类型i32，表示32位的整型。

➤ 0.3 可赋值元素

- <可赋值元素> -> <ID>

语义说明：标识符可以作为左值，被用于进行赋值操作。

类Rust语法和语义规则

➤ 1.2 语句 (前置规则1.1)

- `<语句串> -> <语句> <语句串>`
- `<语句> -> ';' ;`

语义说明：允许函数体内放置任意数量的语句，单个分号可以作为一个语句。

➤ 1.3 返回语句 (前置规则1.2)

- `<语句> -> <返回语句>`
- `<返回语句> -> return ';' ;`

语义说明：<返回语句> 用于从函数调用中退出，并将控制权交还给调用者。
当前仅支持不返回任何结果的返回语句。

➤ 1.4 函数输入 (前置规则0.1、0.2、1.1)

- `<形参列表> -> <形参> | <形参> ',' <形参列表>`
- `<形参> -> <变量声明内部> ':' <类型>`

语义说明：允许函数声明时接收参数，参数具有指定的类型信息。

➤ 1.5 函数输出 (前置规则0.2、1.3、3.1)

- `<函数头声明> -> fn <ID> '(' <形参列表> ')' '->' <类型>`
- `<返回语句> -> return <表达式> ';' ;`

语义说明：<函数头声明> 中支持标注返回类型，并将 <返回语句> 增强为支持返回一个表达式的值。

```
fn program_1_2() {  
    .....  
}
```

```
fn program_1_3() {  
    return ;  
}
```

```
fn program_1_4(mut a:i32) {  
  
}
```

```
fn program_1_5__1() -> i32 {  
    return 1;  
}
```

```
fn program_1_5__2() -> i32 {  
    return ;  
}
```

× 返回语句的类型 (空) 和函数声明返回类型 (i32) 不一致

```
fn program_1_5__3() {  
    return 1;  
}
```

× 返回语句的类型 (i32) 和函数声明返回类型 (空) 不一致

类Rust语法和语义规则

➤ 2.1 变量声明语句（前置规则0.1、0.2、1.2）

- `<语句> -> <变量声明语句>`
- `<变量声明语句> -> let <变量声明内部> ':' <类型> ';'`
- `<变量声明语句> -> let <变量声明内部> ';'`

语义说明：允许两种变量声明语句：

- 显式声明一个具有指定类型的变量，必须与后续赋值或使用的表达式类型一致（若不一致，则报错）；
- 声明一个变量但不显式标注其类型，编译器需根据后续使用的上下文进行类型推导（若无法推导，则报错）。

变量允许二次声明，每次声明隐藏之前的绑定，称为重影。

➤ 2.2 赋值语句（前置规则0.3、1.2、3.1）

- `<语句> -> <赋值语句>`
- `<赋值语句> -> <可赋值元素> '=' <表达式> ';'`

语义说明：允许将一个 `<表达式>` 的计算结果赋值给某个左值（L-value），从而实现变量值的修改。该左值需要提前声明，若未声明，则报错。

```
fn program_2_1__1() {  
    let mut a:i32;  
}
```

```
fn program_2_1__2() {  
    let mut b; × 后续无语句，  
                无法推断b的类型  
}
```

```
fn program_2_1__3() {  
    let mut a:i32; ✓ 可以二次声明，  
    a=1;           称为重影  
    let mut a:i32;  
    a=2;  
}
```

```
fn program_2_2__1(mut a:i32) {  
    a=32;  
}
```

```
fn program_2_2__2() {  
    a=32; × 变量未声明  
}
```

类Rust语法和语义规则

➤ 2.3 变量声明赋值语句（前置规则0.1、0.2、0.3、1.2、3.1）

- $\langle \text{语句} \rangle \rightarrow \langle \text{变量声明赋值语句} \rangle$
- $\langle \text{变量声明赋值语句} \rangle \rightarrow \text{let } \langle \text{变量声明内部} \rangle \text{ ':' } \langle \text{类型} \rangle \text{ '=' } \langle \text{表达式} \rangle \text{ ';'}$
- $\langle \text{变量声明赋值语句} \rangle \rightarrow \text{let } \langle \text{变量声明内部} \rangle \text{ '=' } \langle \text{表达式} \rangle \text{ ';'}$

语义说明：允许两种变量声明并赋值语句：

- 显式声明一个变量，并指定其类型，立即使用右侧 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的值对其进行初始化，右侧 $\langle \text{表达式} \rangle$ 必须能求值且与 $\langle \text{类型} \rangle$ 类型相同（若不能求值、或类型不同，则报错）；
- 声明一个变量但不显式标注其类型，类型由右侧 $\langle \text{表达式} \rangle$ 推导得出，且需与后续赋值或使用的表达式的类型一致（若不一致，则报错）。

和2.1一样，变量允许二次声明，每次声明隐藏之前的绑定，称为重影。

```
fn program_2_3_1() {  
    let mut a:i32=1;  
    let mut b=1;  
}
```

```
fn program_2_3_2() {  
    let mut b:i32=a; × 右值求值时发现变量a未声明  
}
```

```
fn program_2_3_3() {  
    let mut a:i32; × 右值求值时发现变量a未赋值  
    let mut b:i32=a;  
}
```

```
fn program_2_3_4() {  
    let mut a:i32=1; ✓ 可以二次声明, 称为重影  
    let mut a=2;  
    let mut a:i32=3;  
}
```

类Rust语法和语义规则

➤ 3.1 基本表达式 (前置规则0.3)

- $\langle \text{语句} \rangle \rightarrow \langle \text{表达式} \rangle ;$
- $\langle \text{表达式} \rangle \rightarrow \langle \text{加法表达式} \rangle$
- $\langle \text{加法表达式} \rangle \rightarrow \langle \text{项} \rangle$
- $\langle \text{项} \rangle \rightarrow \langle \text{因子} \rangle$
- $\langle \text{因子} \rangle \rightarrow \langle \text{元素} \rangle$
- $\langle \text{元素} \rangle \rightarrow \langle \text{NUM} \rangle \mid \langle \text{可赋值元素} \rangle \mid '(' \langle \text{表达式} \rangle ')'$

```
fn program_3_1_1() {  
    0;  
    (1);  
    ((2));  
    (((3)));  
}
```

```
fn program_3_1_2(mut a:i32) {  
    a;  
    (a);  
    ((a));  
    (((a)));  
}
```

语义说明：提供表达式求值的能力，能支持常量、变量以及带括号的嵌套表达式。

➤ 3.2 表达式增加计算和比较 (前置规则3.1)

- $\langle \text{表达式} \rangle \rightarrow \langle \text{表达式} \rangle \langle \text{比较运算符} \rangle \langle \text{加法表达式} \rangle$
- $\langle \text{加法表达式} \rangle \rightarrow \langle \text{加法表达式} \rangle \langle \text{加减运算符} \rangle \langle \text{项} \rangle$
- $\langle \text{项} \rangle \rightarrow \langle \text{项} \rangle \langle \text{乘除运算符} \rangle \langle \text{因子} \rangle$
- $\langle \text{比较运算符} \rangle \rightarrow '<' \mid '<=' \mid '>' \mid '>=' \mid '==' \mid '!='$
- $\langle \text{加减运算符} \rangle \rightarrow '+' \mid '-'$
- $\langle \text{乘除运算符} \rangle \rightarrow '*' \mid '/'$

```
fn program_3_2() {  
    1*2/3;  
    4+5/6;  
    7<8;  
    9>10;  
    11==12;  
    13!=14;  
    1*2+3*4!=4/2-3/1;  
}
```

语义说明：支持比较、加减、乘除三种运算，且优先级乘除>加减>比较。

类Rust语法和语义规则

➤ 3.3 函数调用 (前置规则3.1)

- $\langle \text{元素} \rangle \rightarrow \langle \text{ID} \rangle ' (' \langle \text{实参列表} \rangle ')'$
- $\langle \text{实参列表} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{表达式} \rangle \mid \langle \text{表达式} \rangle ',' \langle \text{实参列表} \rangle$

语义说明：提供函数调用表达式的能力，可以将函数作为运算的一部分参与整个程序逻辑。

- 实参数量与形参数量需一致；
- $\langle \text{实参列表} \rangle$ 中的每个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的类型必须与对应位置形参的类型一致；
- 若函数无返回值，则不能出现在需要右值的上下文中。

```
fn program_3_3_3_a() {  
    }  
fn program_3_3_3_b() {  
    program_3_3_3_a(1);  
}
```

× 实参数量与形参数量不一致

```
fn program_3_3_4_a(mut a:i32) {  
    }  
fn program_3_3_4_b() {  
    program_3_3_4_a(program_3_3_4_a);  
}
```

× 实参类型与形参类型不一致

```
fn program_3_3_1_a() {  
    }  
fn program_3_3_1_b() {  
    program_3_3_1_a();  
}
```

```
fn program_3_3_2_a(mut a:i32) {  
    }  
fn program_3_3_2_b() {  
    program_3_3_2_a(1+2);  
}
```

```
fn program_3_3_5_a() {  
    }  
fn program_3_3_5_b() {  
    let mut a=program_3_3_5_a();  
}
```

× 无返回值函数不能作为右值

类Rust语法和语义规则

➤ 4.1 选择结构 (前置规则1.2、3.1)

- `<语句> -> <if语句>`
- `<if语句> -> if <表达式> <语句块> <else部分>`
- `<else部分> -> 空 | else <语句块>`

语义说明：支持 if 条件分支语句及其可选的 else 分支，可根据 `<表达式>` 的真假执行不同的代码路径：若为真，则执行 if 后的 `<语句块>`，否则若有 else 分支则执行 else 后的 `<语句块>`。

➤ 4.2 增加else if (前置规则4.1)

- `<else部分> -> else if <表达式> <语句块> <else部分>`

语义说明：拓展 else if 分支，若前一个 if 或 else if 条件不成立，则评估此分支的 `<表达式>`，若为真则执行该 else if 后的 `<语句块>`。

```
fn program_4_1__1(mut a:i32) -> i32
{
    if a>0 {
        return 1;
    }
    return 0;
}
fn program_4_1__2(mut a:i32) -> i32
{
    if a>0 {
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}
fn program_4_2(mut a:i32) -> i32 {
    if a>0 {
        return a+1;
    } else if a<0 {
        return a-1;
    } else {
        return 0;
    }
}
```


类Rust语法和语义规则

➤ 5.1 while循环结构 (前置规则1.2、3.1)

- $\langle \text{语句} \rangle \rightarrow \langle \text{循环语句} \rangle$
- $\langle \text{循环语句} \rangle \rightarrow \langle \text{while语句} \rangle$
- $\langle \text{while语句} \rangle \rightarrow \text{while } \langle \text{表达式} \rangle \langle \text{语句块} \rangle$

语义说明：拓展循环控制能力，实现基于条件的多次重复执行逻辑。每次循环开始前求表达式的值，若结果为真，则执行 $\langle \text{语句块} \rangle$ ；若为假，则跳过整个循环。

```
fn program_5_1(mut n:i32) {  
    while n>0 {  
        n=n-1;  
    }  
}
```

➤ 5.2 for循环结构 (前置规则5.1)

- $\langle \text{循环语句} \rangle \rightarrow \langle \text{for语句} \rangle$
- $\langle \text{for语句} \rangle \rightarrow \text{for } \langle \text{变量声明内部} \rangle \text{ in } \langle \text{可迭代结构} \rangle \langle \text{语句块} \rangle$
- $\langle \text{可迭代结构} \rangle \rightarrow \langle \text{表达式} \rangle \text{ '..' } \langle \text{表达式} \rangle$

语义说明：拓展基于范围的迭代能力，对可迭代结构中的每一个元素进行遍历， $\langle \text{可迭代结构} \rangle \rightarrow \langle \text{表达式} \rangle \text{ '..' } \langle \text{表达式} \rangle$ 的第一个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 是闭区间，第二个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 是开区间，即包含第一个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的值，不包含第二个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的值。

```
fn program_5_2(mut n:i32) {  
    for mut i in 1..n+1 {  
        n=n-1;  
    }  
}
```

类Rust语法和语义规则

➤ 5.3 loop循环结构 (前置规则5.1)

- `<循环语句> -> <loop语句>`
- `<loop语句> -> loop <语句块>`

语义说明：拓展无条件无限循环的能力，定义一个无限循环，每次迭代时执行 `<语句块>` 中的内容，只有通过显式退出指令（如 `break`）才能终止循环。

➤ 5.4 增加break和continue (前置规则5.1)

- `<语句> -> break ';' | continue ';'`

语义说明：增强循环逻辑的灵活性和表达能力。

- `break ';'` 表示立即终止最内层当前所在的循环，控制流将跳转到该循环之后的第一条语句；必须出现在循环体内，否则应报错；若在嵌套循环中使用，仅跳出当前最内层循环。
- `continue ';'` 表示跳过当前循环体中剩余的代码，直接进入下一次循环判断；必须出现在循环体内，否则应报错；在嵌套循环中，仅影响当前所在循环。

```
fn program_5_3() {  
    loop {  
  
    }  
}
```

```
fn program_5_4_1() {  
    while 1==1 {  
        break;  
    }  
}
```

```
fn program_5_4_2() {  
    break;  
}
```

× `break;` 必须出现在循环体内

```
fn program_5_4_3() {  
    while 1==0 {  
        continue;  
    }  
}
```

```
fn program_5_4_4() {  
    continue;  
}
```

× `continue;` 必须出现在循环体内

类Rust语法和语义规则

➤ 6.1 声明不可变变量（前置规则0.2）

- `<变量声明内部> -> <ID>`

语义说明：表示一个变量名 `<ID>` 被用作不可变变量的声明；该变量在赋值之后不能通过赋值语句再次修改其值；若变量是复合类型（如数组），其实体内容也不应被更改。

➤ 6.2 借用和引用（前置规则3.1、6.1）

- `<因子> -> '*' <因子> | '&' mut <因子> | '&' <因子>`
- `<类型> -> '&' mut <类型> | '&' <类型>`

语义说明：支持引用语义与解引用访问能力。

- `'*' <因子>` 表示对一个引用类型的值进行解引用操作，访问其指向的数据；不允许对非引用类型进行解引用；
- `'&' mut <因子>` 表示创建一个指向某个变量的可变引用；允许通过该引用修改原始数据；当前不允许存在其他的不可变或可变引用；仅允许从可变变量创建可变引用；
- `'&' <因子>` 表示创建一个指向某个变量的不可变引用；允许读取但不允许修改原始数据；可以同时存在多个不可变引用；
- `'&' mut <类型>` 表示一个指向特定数据类型的可变引用类型；
- `'&' <类型>` 表示一个指向特定数据类型的不可变引用类型。

```
fn program_6_1_1() {  
    let a:i32=1;  
    let b=2;  
}
```

```
fn program_6_1_2() {  
    let c:i32=1; × 不可变变量不可  
    c=2;         二次赋值  
}
```

```
fn program_6_2_1() {  
    let mut a:i32=1;  
    let mut b:&mut i32=&mut a;  
    let mut c:i32=*b;  
}
```

```
fn program_6_2_2() {  
    let a:i32=1;  
    let b:& i32=&a;  
    let c:i32=*b;  
}
```

类Rust语法和语义规则

➤ 6.1 声明不可变变量（前置规则0.2）

- `<变量声明内部> -> <ID>`

语义说明：表示一个变量名 `<ID>` 被用作不可变变量的声明；该变量在赋值之后不能通过赋值语句再次修改其值；若变量是复合类型（如数组），其实体内容也不应被更改。

➤ 6.2 借用和引用（前置规则3.1、6.1）

- `<因子> -> '*' <因子> | '&' mut <因子> | '&' <因子>`
- `<类型> -> '&' mut <类型> | '&' <类型>`

语义说明：支持引用语义与解引用访问能力。

- `'*' <因子>` 表示对一个引用类型的值进行解引用操作，访问其指向的数据；不允许对非引用类型进行解引用；
- `'&' mut <因子>` 表示创建一个指向某个变量的可变引用；允许通过该引用修改原始数据；当前不允许存在其他的不可变或可变引用；仅允许从可变变量创建可变引用；
- `'&' <因子>` 表示创建一个指向某个变量的不可变引用；允许读取但不允许修改原始数据；可以同时存在多个不可变引用；
- `'&' mut <类型>` 表示一个指向特定数据类型的可变引用类型；
- `'&' <类型>` 表示一个指向特定数据类型的不可变引用类型。

```
fn program_6_2_3() {  
    let mut a:i32=1;  
    let mut b=*a;  
}
```

× 不允许对非引用类型进行解引用

```
fn program_6_2_4() {  
    let mut a:i32=1;  
    let b=&a;  
    let mut c=&mut a;  
}
```

× 可变引用不能和其他的引用共存

```
fn program_6_2_5() {  
    let a:i32=1;  
    let mut b=&mut a;  
}
```

× 仅支持从可变变量创建可变引用

```
fn program_6_2_6() {  
    let mut a:i32=1;  
    let b=&a;  
    let c=&a;  
}
```

✓ 可以存在多个不可变引用

类Rust语法和语义规则

➤ 7.1 函数表达式块（前置规则1.2、3.1）

- $\langle \text{表达式} \rangle \rightarrow \langle \text{函数表达式语句块} \rangle$
- $\langle \text{函数表达式语句块} \rangle \rightarrow \{ \langle \text{函数表达式语句串} \rangle \}$
- $\langle \text{函数表达式语句串} \rangle \rightarrow \langle \text{表达式} \rangle \mid \langle \text{语句} \rangle \langle \text{函数表达式语句串} \rangle$

语义说明：提供在表达式中嵌入代码块的能力，一个合法的 $\langle \text{表达式} \rangle$ 可以是一个包含一系列 $\langle \text{语句} \rangle$ 和一个末尾的 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的代码块，末尾的 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的值作为返回值。

➤ 7.2 函数表达式块作为函数体（前置规则7.1）

- $\langle \text{函数声明} \rangle \rightarrow \langle \text{函数头声明} \rangle \langle \text{函数表达式语句块} \rangle$

语义说明：提供使用结构化表达式块作为函数执行内容的能力，一个完整的函数可由 $\langle \text{函数头} \rangle$ 和 $\langle \text{函数表达式语句块} \rangle$ 组成， $\langle \text{函数表达式代码块} \rangle$ 的最后一个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的值作为返回值。

```
fn program_7_1(mut x:i32,mut y:i32) {  
    let mut z={  
        let mut t=x*x+x;  
        t=t+x*y;  
        t  
    };  
}
```

```
fn program_7_2(mut x:i32,mut y:i32) -> i32 {  
    let mut t=x*x+x;  
    t=t+x*y;  
    t  
}
```

类Rust语法和语义规则

➤ 7.3 选择表达式 (前置规则7.1)

- `<表达式> -> <选择表达式>`
- `<选择表达式> -> if <表达式> <函数表达式语句块> else <函数表达式语句块>`

语义说明：提供将 if-else 结构用作表达式并返回值的能力，一个 `<表达式>` 可以是 if-else 结构和 `<函数表达式语句块>` 的组合，根据 if 后的 `<表达式>` 的真假，决定执行哪一个 `<函数表达式语句块>`，该语句块的返回值作为该 `<选择表达式>` 的返回值。

➤ 7.4 循环表达式 (前置规则7.1)

- `<表达式> -> <loop语句>`
- `<语句> -> break <表达式> ;`

语义说明：提供将循环结构作表达式并返回值的能力，一个 `<表达式>` 可以是一个 `<loop语句>`，其最终返回值由某个分支中的 `break <表达式>` 决定。break 必须出现在循环体内，否则应报错；break 后的表达式必须能求值；若多个 break 存在于同一循环体中，它们必须返回相同类型。

```
fn program_7_3(mut a:i32) {  
    let mut b=if a>0 {  
        1  
    } else {  
        0  
    };  
}
```

```
fn program_7_4_1() {  
    let mut a=loop {  
        break 1;  
    };  
}
```

```
fn program_7_4_2() {  
    break 2;  
}
```

× break <表达式>;
必须出现在循环体内

类Rust语法和语义规则

➤ 8.1 数组 (前置规则0.2、3.1)

- $\langle \text{类型} \rangle \rightarrow '[' \langle \text{类型} \rangle ';' \langle \text{NUM} \rangle ']'$
- $\langle \text{因子} \rangle \rightarrow '[' \langle \text{数组元素列表} \rangle ']'$
- $\langle \text{数组元素列表} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{表达式} \rangle \mid \langle \text{表达式} \rangle ',' \langle \text{数组元素列表} \rangle$

语义说明：提供静态大小数组的声明与初始化能力。定义数组类型时， $\langle \text{类型} \rangle$ 是数组中每个元素的类型， $\langle \text{NUM} \rangle$ 是数组的长度，必须是一个正整数常量。创建并初始化一个数组时， $\langle \text{表达式} \rangle$ 的数量必须与数组的长度一致，每个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的类型要与数组元素类型一致。

```
fn program_8_1_1() {  
    let mut a:[i32;3];  
    a=[1,2,3];  
}
```

```
fn program_8_1_2(mut a:i32) {  
    let mut a:[i32;2];  
    a=1;  
}
```

× 变量赋值的类型与声明的类型不一致

```
fn program_8_1_3(mut a:i32) {  
    let mut a:[i32;2];  
    a=[1,2,3];  
}
```

× 初始化时的元素数量与数组长度不一致

```
fn program_8_1_4() {  
    let mut a:[[i32;1];1];  
    a=[1];  
}
```

× 初始化时元素的类型与数组元素类型不一致

类Rust语法和语义规则

➤ 8.2 数组元素 (前置规则8.1)

- $\langle \text{可赋值元素} \rangle \rightarrow \langle \text{元素} \rangle \text{'['} \langle \text{表达式} \rangle \text{'}'}$
- $\langle \text{可迭代结构} \rangle \rightarrow \langle \text{元素} \rangle$

语义说明：提供随机访问数组元素的能力，支持在赋值语句左侧使用以修改指定位置的值。作为索引的 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的类型必须是整数类型；索引值必须在运行时位于合法范围内 $[0, \text{len})$ ，否则应视为越界；若数组本身不可变，则不能出现在赋值语句左侧。

```
fn program_8_2_1(mut a:[i32;3]) {  
    let mut b:i32=a[0];  
    a[0]=1;  
}
```

```
fn program_8_2_2(mut a:i32) {  
    let mut a=[1,2,3];  
    let mut b=a[a];  
}
```

× 数组的索引的类型
必须是整数类型

```
fn program_8_2_3() {  
    let mut a=[1,2,3];  
    let mut b=a[3];  
}
```

× 数组索引越界

```
fn program_8_2_4() {  
    let a:[i32;3]=[1,2,3];  
    a[0]=4;  
}
```

× 不可变数组的元素也
不可变，不能作为左值

类Rust语法和语义规则

➤ 9.1 元组 (前置规则0.2、3.1)

- $\langle \text{类型} \rangle \rightarrow '(\langle \text{元组类型内部} \rangle)'$
- $\langle \text{元组类型内部} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{类型} \rangle ',' \langle \text{类型列表} \rangle$
- $\langle \text{类型列表} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{类型} \rangle \mid \langle \text{类型} \rangle ',' \langle \text{类型列表} \rangle$
- $\langle \text{因子} \rangle \rightarrow '(\langle \text{元组赋值内部} \rangle)'$
- $\langle \text{元组赋值内部} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{表达式} \rangle ',' \langle \text{元组元素列表} \rangle$
- $\langle \text{元组元素列表} \rangle \rightarrow \text{空} \mid \langle \text{表达式} \rangle \mid \langle \text{表达式} \rangle ',' \langle \text{元组元素列表} \rangle$

```
fn program_9_1_1() {  
    let a:(i32,i32,i32);  
    a=(1,2,3);  
}
```

语义说明：提供静态大小元组的声明与初始化能力。定义数组类型时，支持空元组 () 和任意数量字段的元组。创建并初始化一个数组时，支持空元组和带元素的元组表达式， $\langle \text{表达式} \rangle$ 的数量必须与元组的长度一致，每个 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的类型要与元组对应位置元素类型一致。

```
fn program_9_1_2(mut a:i32) {  
    let mut a:(i32,i32);  
    a=1;  
}
```

× 变量赋值的类型与声明的类型不一致

```
fn program_9_1_3(mut a:i32) {  
    let mut a:(i32,i32);  
    a=(1,2,3);  
}
```

× 初始化时的元素数量与元组长度不一致

```
fn program_9_1_4() {  
    let mut a:((i32,i32),);  
    a=(1,);  
}
```

× 初始化时元素的类型与元组元素类型不一致

*注：仅有一个元素的元组的第一个元素后一定要加','，从而与加括号的表达式区分开

类Rust语法和语义规则

➤ 9.2 元组元素 (前置规则9.1)

- $\langle \text{可赋值元素} \rangle \rightarrow \langle \text{元素} \rangle . \langle \text{NUM} \rangle$

语义说明：提供按索引访问元组字段的能力，支持在赋值语句左侧使用以修改指定位置的值。作为索引的 $\langle \text{表达式} \rangle$ 的类型必须是整数类型；索引值必须在运行时位于合法范围内 $[0, \text{len})$ ，否则应视为越界；若元组本身不可变，则不能出现在赋值语句左侧。

```
fn program_9_2__1(mut a:(i32,i32)) {  
    let mut b:i32=a.0;  
    a.0=1;  
}
```

```
fn program_9_2__2(mut a:i32) {  
    let mut a=(1,2,3);  
    let mut b=a.a;  
}
```

× 元组的索引的类型
必须是整数类型

```
fn program_9_2__3() {  
    let mut a=(1,2,3);  
    let mut b=a.3;  
}
```

× 元组索引越界

```
fn program_9_2__4() {  
    let a:(i32,i32,i32)=(1,2,3);  
    a.0=4;  
}
```

× 不可变元组的元素也
不可变，不能作为左值

评分标准

实验评价内容	所占比重	要求
需求分析能力	20%	<p>A（90 分以上）：对系统的可行性、用户需求和功能需求进行了准确完整的分析与总结；</p> <p>B（80-89）：对系统的可行性、用户需求和功能需求进行了较为完整的分析与总结；</p> <p>C（70-79）：对系统的可行性与基本功能需求进行了分析与总结；</p> <p>D（60-69）：对系统的基本功能需求进行了简单的分析与总结；</p> <p>E（60 分以下）：无需求分析内容</p>

评分标准

实验评价内容	所占比重	要求
系统方案（算法）设计能力	20%	<p>A（90 分以上）：系统设计与实现非常完善，概要设计和详细设计完整；</p> <p>B（80-89）：系统设计与实现较完善，概要设计和详细设计较完整；</p> <p>C（70-79）：设计并实现了系统的基本功能，概要设计和详细设计基本完整；</p> <p>D（60-69）：仅设计并实现较简单的系统；</p> <p>E（60 分以下）：无系统设计与实现。</p>

评分标准

实验评价内容	所占比重	要求
编程能力	30%	<p>A（90 分以上）：独立编程实现要求的全部功能，实现输出目标代码（可汇编执行）的程序，正确无误、界面友好；</p> <p>B（80-89）：独立编程实现要求的全部功能，实现输出中间代码表示的程序，正确无误、界面友好；</p> <p>C（70-79）：独立编程实现要求的全部功能，实现输出中间代码表示的程序，程序较正确、界面较友好；</p> <p>D（60-69）：独立编程基本实现要求功能，实现输出中间代码表示的程序，程序基本正确、提供交互界面；</p> <p>E（60 分以下）：未能编程实现要求的基本功能。</p>

评分标准

实验评价内容	所占比重	要求
撰写报告能力	30%	<p>A（90 分以上）：表达通顺，逻辑清晰，内容完整，实验充分，提出个人想法，不存在抄袭；</p> <p>B（80-89）：表达通顺，逻辑清晰，内容较为完整，实验较充分，不存在抄袭；</p> <p>C（70-79）：表达通顺，内容基本完整，不存在抄袭；</p> <p>D（60-69）：报告内容不完整，不存在抄袭；</p> <p>E（60 分以下）：存在大篇幅抄袭</p>