



誠朴雄偉
勵學敦行

第一章 引论

陈林

Ichen@nju.edu.cn





提纲

- 编译器的结构
- 编译过程
- 语言特征



什么是编译器

- 一个编译器就是一个程序，读入以某一种语言（源语言）编写的程序，并把该程序翻译成为一个等价的、用另一种语言（目标语言）编写的程序。



- 如果翻译过程发现源程序有错，则报错
- 狹义：程序设计语言 → 机器代码
- 广义：程序变换 C++ → C → 汇编 Pascal → C



编译器简介

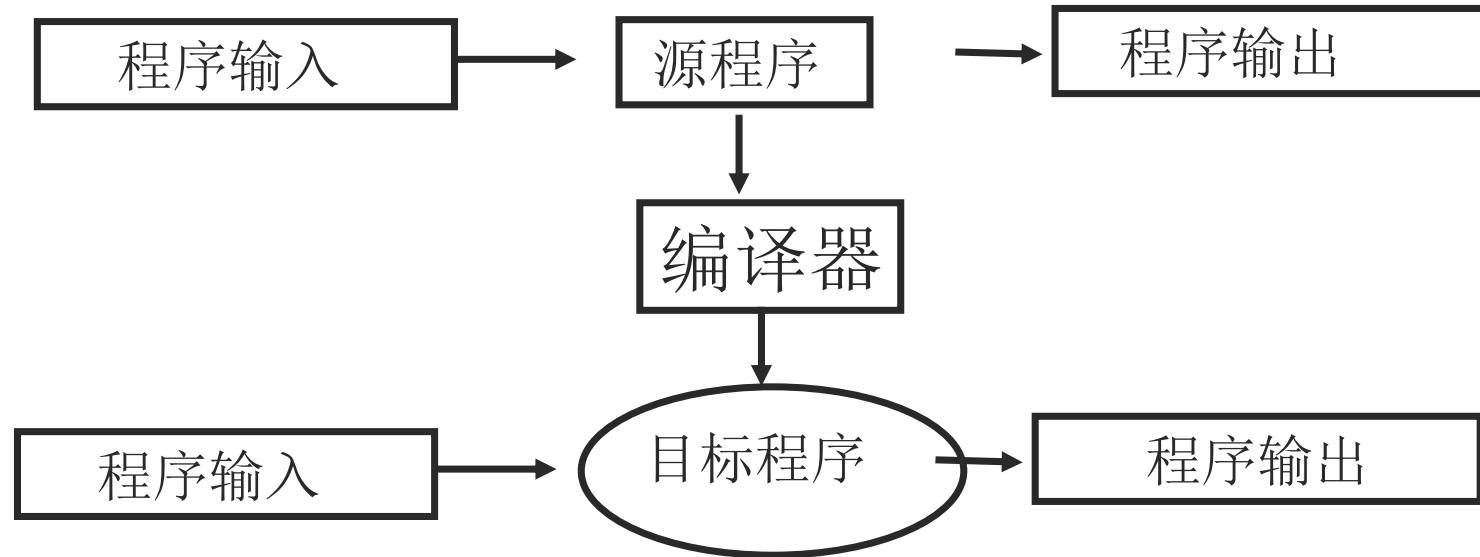


- 编译器 **vs.** 解释器
- 编译器的结构
- 编译的构造工具





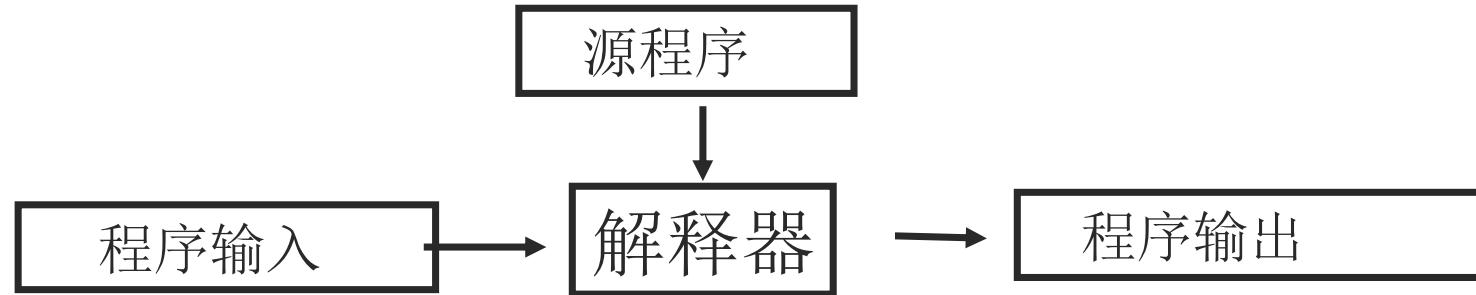
编译器



- 效率高，一次编译，多次运行。
- 通常目标程序是可执行的。



解释器



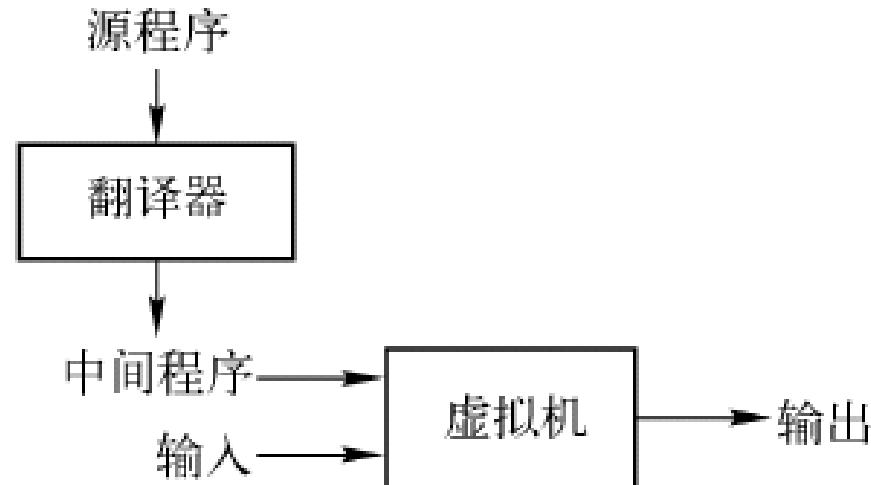
- 直接利用用户提供的输入，执行源程序中指定的操作。
- 不生成目标程序，而是根据源程序的语义直接运行。
- 边解释，边执行，错误诊断效果好。



编译器 vs. 解释器

■ Java结合了两者：

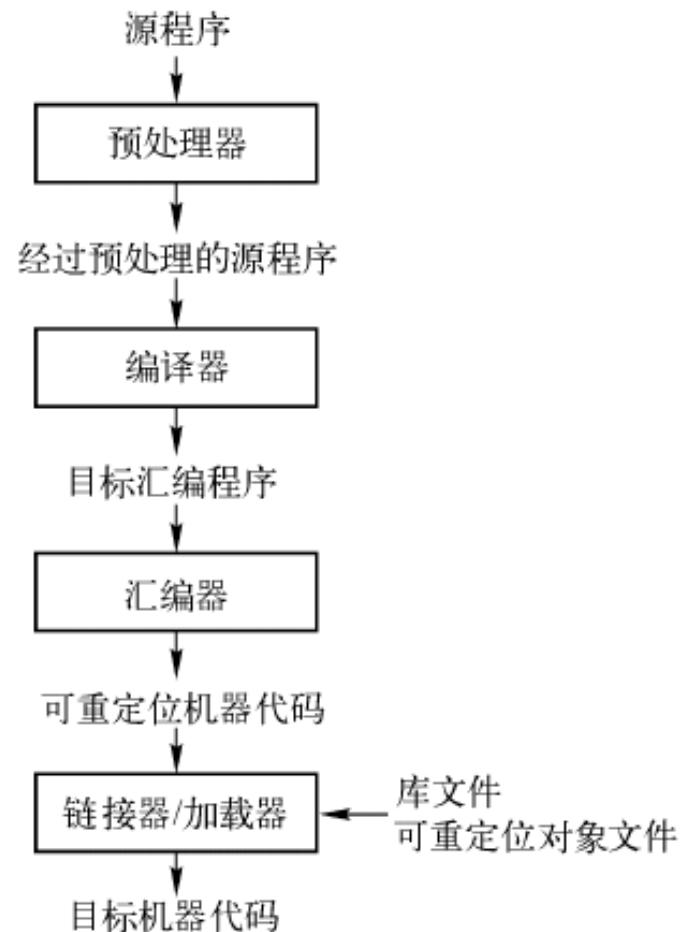
- 先编译成字节码，再由Java虚拟机解释执行
- 即时编译（Just-in-Time compiling）
- 提前编译（Ahead-of-Time）

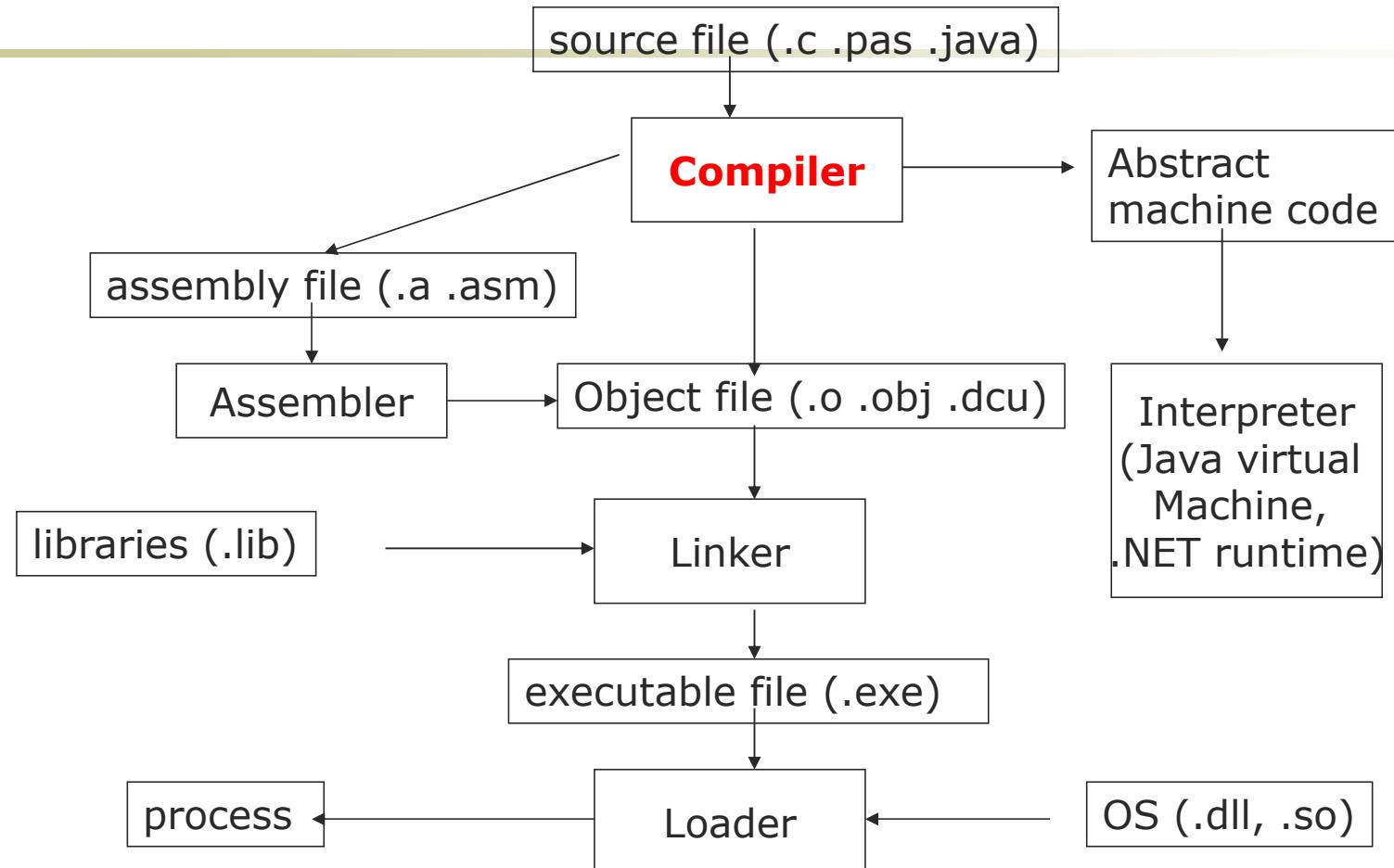




典型语言（如C）的编译

- 预处理器
- 编译器
- 汇编器
- 链接器
- 加载器







编译器简介



- 编译器 vs. 解释器
- 编译器的结构
- 编译的构造工具



编译器的结构

■ 分析部分 (Analysis)

- 源程序 - 语法结构 - 中间表示
- 搜集源程序中的相关信息，放入符号表
- 分析、定位程序中可能存在的错误信息（语法、语义错误）
- 又称编译器的前端（**front end**），是与机器无关的部分
- 有时亦把生成中间代码、代码无关优化称为中端

■ 综合部分 (Synthesis)

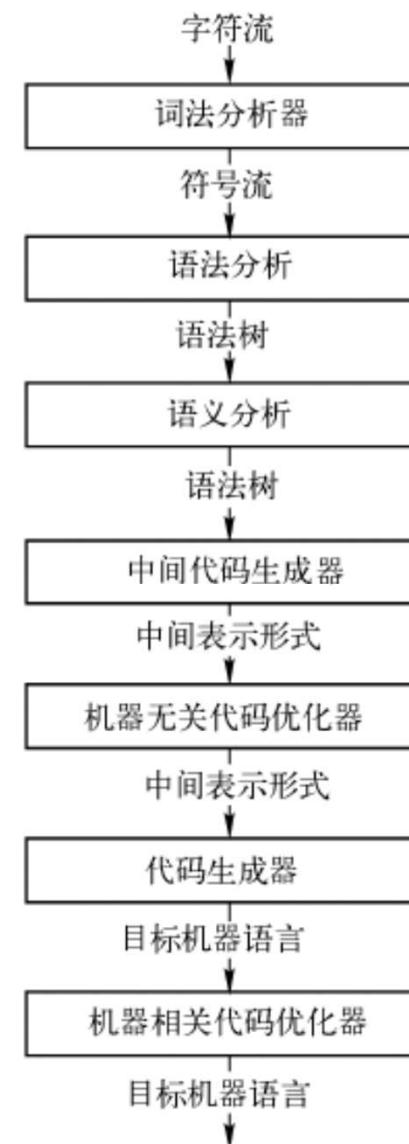
- 根据符号表和中间表示构造目标程序
- 又称编译器的后端（**back end**），是与机器相关的部分



编译器中的若干步骤

- 每个步骤把源程序的一种表示方式转换成另一种表示方式。
- 实践中，某些中间表示不需要明确的构造出来。
- 符号表可由各个步骤使用

符号表





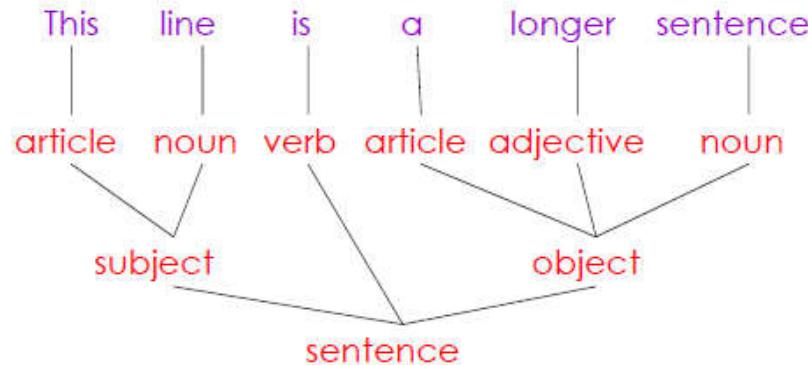
符号表管理

- 记录源程序中使用的变量的名字，收集各种属性
 - 名字的存储分配
 - 类型
 - 作用域
 - 过程名字的参数数量、参数类型等等
- 符号表可由编译器的各个步骤使用



类比：英语的分析理解过程

- 词法分析: This line is a longer sentence.
- 语法分析:



- 语义分析
 - This line is a longer sentence.



词法分析



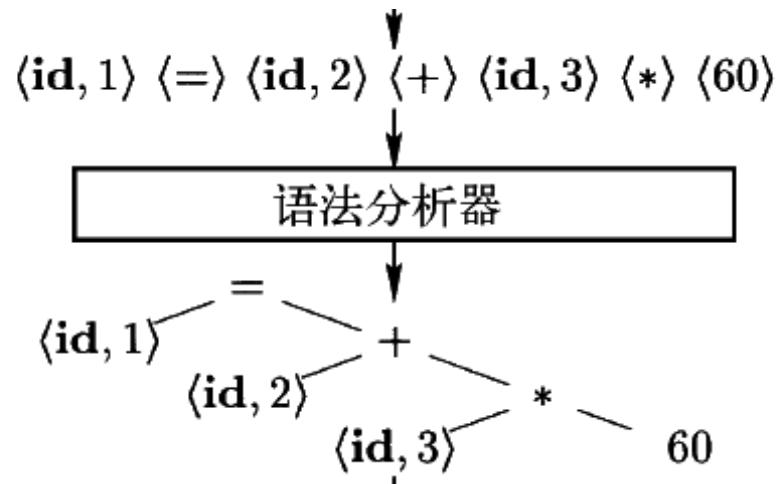
- 词法分析/扫描 (lexical analysis, scanning)
 - 读入源程序的字符流，输出有意义的词素(lexeme)
 - 基于词素，产生词法单元：
 $\langle \text{token-name}, \text{attribute-value} \rangle$
 - token-name由语法分析步骤使用
 - attribute-value指向相应的符号表条目，由语义分析/代码生成步骤使用
- 例子
 - position = initial + rate * 60
 - <id,1> <=,> <id, 2> <+,> <id,3> <*,> <number, 4>



语法分析



- 词法分析后，需要得到词素序列的语法结构
- 语法分析/解析（syntax analysis/parsing）
 - 根据各个词法单元的第一个分量来创建树形中间表示形式。通常是语法树（syntax tree）。
 - 指出了词法单元流的语法结构。

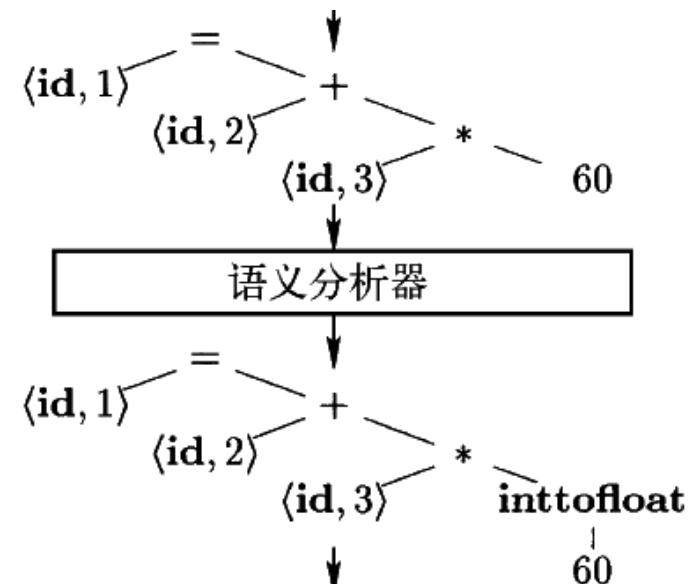




语义分析



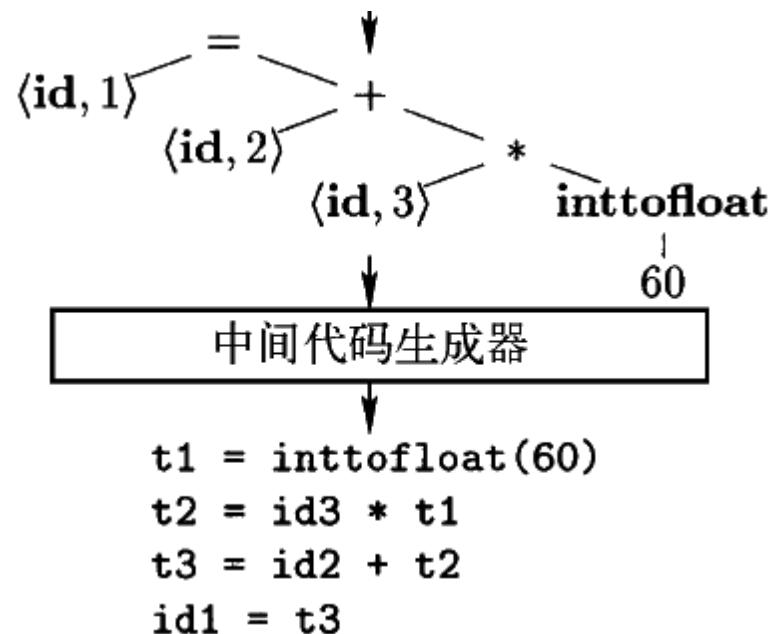
- 得到语义(meaning), 对于编译器来说比较难
- 语义分析 (semantic analysis)
 - 使用语法树和符号表中的信息, 检查源程序是否满足语言定义的语义约束。
 - 同时收集类型信息, 用于代码生成。
 - 类型检查, 类型转换。





中间代码生成

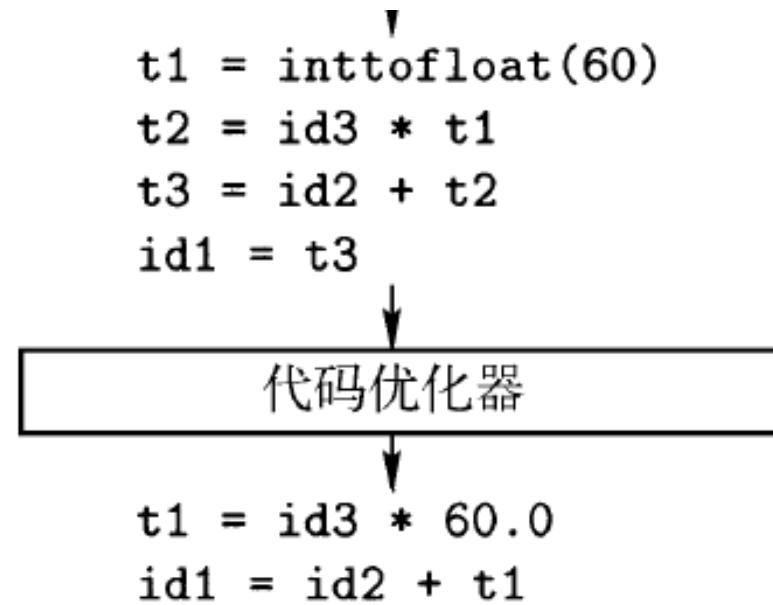
- 根据语义分析的输出，生成类机器语言的中间表示
- 三地址代码：
 - 每个指令最多包含三个运算分量
 - $t1 = \text{inttofloat}(60); t2 = id3 * t1; t3 = id2 + t2;$





代码优化

- 通过对中间代码的分析，改进中间代码，得到更好的目标代码
 - 快、短、能耗低
- 优化有具体的设计目标





代码生成

■ 把中间表示形式映射到目标语言

- 寄存器的分配
- 指令选择
- 内存分配

$t1 = id3 * 60.0$
 $id1 = id2 + t1$



LDF R2, id3
MULF R2, R2, #60.0
LDF R1, id2
ADDF R1, R1, R2
STF id1, R1



编译器的趟 (Pass)

- 趟：以文件为输入输出单位的编译过程的个数，每趟可由一个或若干个步骤构成
- “步骤”是逻辑组织方式
- “趟”和具体的实现相关
 - 参考LLVM实现中的Pass



编译器简介



- 编译器 vs. 解释器
- 编译器的结构
- 编译的构造工具



编译器的构造工具

- 语法分析器的生成器: **yacc/bison**
 - 根据一个程序设计语言的语法描述自动生成语法分析器
- 扫描器的生成器: **lex/flex**
 - 根据一个语言的词法单元的正则表达式描述生成词法分析器
- 语法制导的翻译引擎
 - 生成一组用于遍历分析树并生成中间代码的程序
- 代码生成器的生成器
 - 把中间语言的每个运算翻译成目标机上机器语言的规则，生成代码生成器
- 数据流分析引擎
 - 收集数据流信息，用于优化
- 编译器构造工具集



编译技术的应用

■ 高级程序设计语言的实现

- 高级程序设计语言的抽象层次的提高有利于编程，但是直接生成的代码却相对低效率

- 聚合类型/高级控制流/面向对象/垃圾自动收集机制

■ 针对计算机体系结构的优化

- 并行性：指令级并行，处理器层次并行

- 内存层次结构

■ 新体系结构的设计

- RISC

- 专用体系结构

- 一个新的体系结构特征能否被充分利用，取决于编译技术



编译技术的应用

■ 程序翻译

- 二进制翻译/硬件合成/数据查询解释器/编译后模拟

■ 软件生产率工具

- 类型检查
- 边界检查
- 内存管理工具



编译器的处理对象-程序语言





程序设计语言

- 语言的代分类
 - 第一代语言：机器语言
 - 第二代语言：汇编语言
 - 第三代语言：高级程序设计语言
 - Fortran, Pascal, Lisp, Modula, C
 - 第四代：特定应用语言：NOMAD, SQL, Postscript
 - 第五代：基于逻辑和约束的语言，Prolog、OPS5
- 命令式语言/声明式语言
 - 前者指明如何完成，后者指明要完成哪些计算
- 冯·诺依曼语言/面向对象的语言/脚本语言
- 面向对象语言
 - Simula, Smalltalk, Modula3, C++, Object Pascal, Java, C#
 - 数据抽象、继承
- 深度学习编译器（并行高性能编译）



程序设计语言和编译器之间的关系



- 程序设计语言的新发展向编译器设计者提出新要求
 - 设计相应的算法和表示方法来翻译和支持新的语言特征
- 通过降低高级语言的执行开销，推动这些高级语言的使用
- 编译器设计者还需要更好地利用新硬件的能力



程序设计语言的基础概念

■ 静态/动态

- 静态：语言策略支持编译器静态决定某个问题
- 动态：只允许在程序运行时刻作出决定
- Java类声明中的static指明了变量的存放位置可静态确定

■ 作用域

- x 的一个声明的作用域是指程序中的一个区域，其中对 x 的使用都指向这个声明
- 静态作用域：通过静态阅读程序决定作用域
- 动态作用域



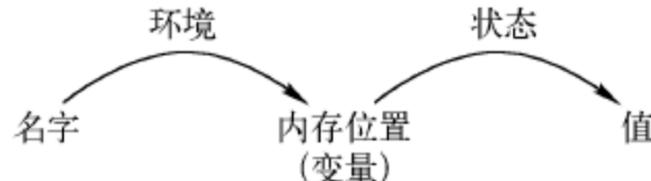
程序设计语言的基础概念



■ 环境与状态

- 环境：是从名字到存储位置的映射
- 状态：从内存位置到它们的值的映射

■ 环境的改变需要遵守语言的作用于规则



```
...
int i;          /* 全局 i */
...
void f(...) {
    int i;          /* 局部 i */
    ...
    i = 3;         /* 对局部 i 的使用 */
    ...
}
...
x = i + 1;      /* 对全局 i 的使用 */
```

图 1-9 名字 *i* 的两个声明



程序设计语言的基础概念

- 静态作用域和块结构
 - C族语言使用静态作用域。
 - C语言程序由顶层的变量、函数声明组成
 - 函数内部可以声明变量（局部变量/参数），这些声明的作用域在它出现的函数内
 - 一个顶层声明的作用域包括其后的所有程序。除去那些具有同样名字的变量声明的函数体。
 - 作用域规则基于程序结构，声明的作用域由它在程序中的位置隐含决定。
 - 也通过public、private、protected进行明确控制



程序设计语言的基础概念



■ 块作用域实例

```
main() {  
    int a = 1;                                B1  
    int b = 1;  
    {  
        int b = 2;                            B2  
        {  
            int a = 3;                      B3  
            cout << a << b;  
        }  
        {  
            int b = 4;                      B4  
            cout << a << b;  
        }  
        cout << a << b;  
    }  
    cout << a << b;  
}
```

声 明	作用域
int a = 1;	B ₁ - B ₃
int b = 1;	B ₁ - B ₂
int b = 2;	B ₂ - B ₄
int a = 3;	B ₃
int b = 4;	B ₄



程序设计语言的基础概念

■ 动态作用域

- 对一个名字x的使用指向的是最近被调用但还没有终止且声明了x的过程中的这个声明。

```
#include<stdio.h>
#define a (x+1)
```

```
int x = 2;
void c(){ printf("%d\n",a);}
void b(){ int x=1; printf("%d\n",a);}
```

```
int main(){
    b();
    c();
}
```

```
#include<stdio.h>
#define a (x+1)
```

```
int x = 2;
void c(){ printf("%d\n",a);}
void b(){ int x=1; printf("%d\n",a); c();}
```

```
int main(){
    b();
}
```



程序设计语言的基础概念



■ 参数传递机制

- 值调用 (call by value): 对实在参数求值/拷贝，再存放到被调用过程的形参的内存位置上。
- 引用调用(call by reference): 实际传递的是实在参数的地址。
- 名调用: 早期使用，现在已经基本废弃。

```
def something() = {  
    println("calling something")  
    1 // return value  
}  
  
def callByValue(x: Int) = {  
    println("x1=" + x)  
    println("x2=" + x)  
}  
  
def callByName(x: => Int) = {  
    println("x1=" + x)  
    println("x2=" + x)  
}
```

```
scala> callByValue(something())  
calling something  
x1=1  
x2=1  
  
scala> callByName(something())  
calling something  
x1=1  
calling something  
x2=1
```



程序设计语言的基础概念

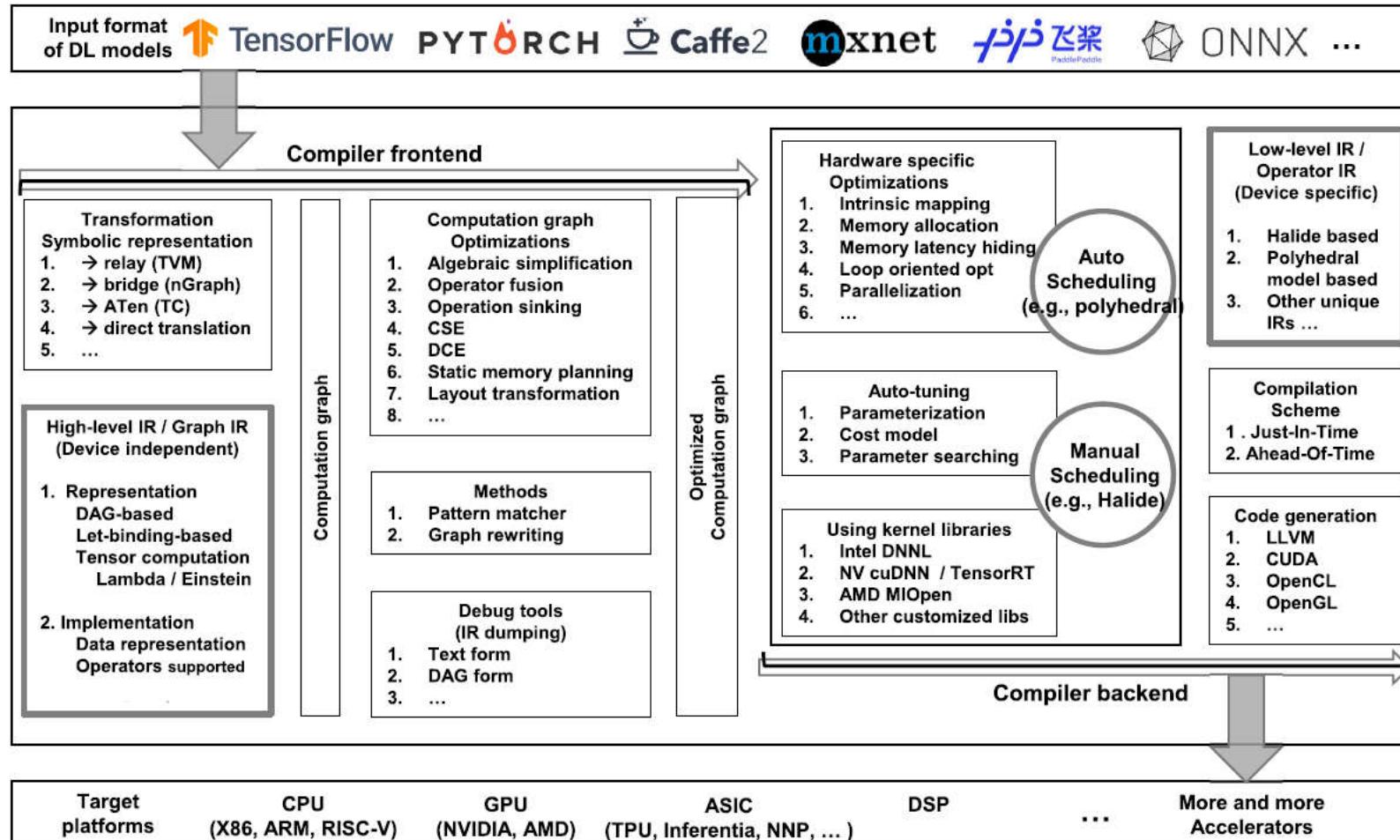


■ 别名：

- 两个指针指向同一个位置的情况
- 导致看起来不同的形式参数实际上是对方的别名



深度学习编译器



图片来源: Li, Mingzhen, et al. "The deep learning compiler: A comprehensive survey." IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 32.3 (2020): 708-727.

