✧ 课程概述

编译原理

Principles and Practice of Compiler Construction

腾讯会议 ID：462-5314-9259
链接：https://meeting.tencent.com/dm/Ops7qXkFOQix

课程概述

- ✧ 有关信息
- ✧ 编译程序（系统）概述
- ✧ 教学内容预览

有关信息

- ✧ 课程信息
- ✧ 课程的地位
- ✧ 教学目的要求
- ✧ 相关课程
- ✧ 教师信息
- ✧ 助教信息
- ✧ 主要参考教材
- ✧ 参考阅读书目
- ✧ 书面作业
- ✧ 实验计划
- ✧ 考核计划
- ✧ 答疑与交流

课程信息

- 课名　　编译原理
- 类别　　必修
- 时间　　22-09-14 至 22-12-28
  每周三下午 1:30-3:05
- 教室　　五教 5204
- 班级　　计 2020 年级
- 时数　　32-2

课程的地位

- ✧ 计算机专业主干课
  - 编译程序（系统）是计算机系统的核心支撑软件
  - 贯穿程序语言、运行时系统、体系结构
  - 联系计算机科学和计算机系统的典范
- ✧ 专业工作者必备的基本技能
  - 编译原理的知识影响到专业人员的素质
  - 大量专业工作与编译技术相关

高级语言实现，软硬件协同设计与优化，硬件综合，二进制翻译，智能编辑器，面向领域的语言以及业务逻辑语言的实现，软件静态分析，逆向工程，调试器，模型驱动的开发，程序验证，…

教学目的要求

- ✧ 掌握编译程序/系统设计的基本原理
- ✧ 掌握“常见”语言机制的实现技术
- ✧ 经历开发一个小型编译程序的主要阶段
- ✧ 自学并使用自动构造工具
- ✧ 加深对计算机系统的理解
- ✧ 会将所学知识灵活应用

原理＋技术＋工具

相关课程

✧ 先修课程

- 《高级语言程序设计》（Python, C/C++, ···）
- 《数据结构》
- 《形式语言与自动机》

✧ 其它相关课程

- 《计算机系统结构》，《操作系统》，《汇编语言》，《计算机原理》，《计算机系统入门》，《编译原理专题实践》
  …

教师信息

- 姓名　　王生原
- 单位　　计算机系软件技术研究所
- 电话　　62794240（O）　13366102912
- 办公室　　东主楼 10 区209
- 电子信箱　wwssyy@tsinghua.edu.cn

- 研究领域
  - 程序设计语言理论与实现
  - 并发系统设计(模型与语义)
  - 程序验证（可信编译器）

教师信息

- 姓名　　陈渝
- 单位　　计算机系软件技术研究所
- 电话　　62789205（O）13911178569
- 办公室　　FIT 3-106
- 电子信箱　　yuchen@tsinghua.edu.cn

- 研究领域
  - 操作系统
  - 系统程序分析与验证
  - 系统软硬件协同设计与优化

助教信息

- 助教信息将尽快公布

主要参考书目

- Compilers：Principles, Techniques, and Tools

  Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman, Addison Wesley, 2007

  （龙书）

- Crafting a Compiler

  Charles N. Fischer, Ronald K.Cytron, Richard J. LeBlanc, Jr., 2010. 清华大学出版社影印，2010

- 本课程讲稿

  课后从网络学堂下载

参考阅读书目

- Modern Compiler Implementation in Java
  Modern Compiler Implementation in C
  Andrew W.Appel, Maia Ginsburg，Cambridge University Press,
  人民邮电出版社影印，2005 （虎书）
- Advanced Compiler Design and Implementation
  Steven S. Muchnick, 1997. 机械工业出版社影印，2003 （鲸书）
- The Theory of Parsing, Translation, and Compiling
  Alfred V. Aho, Jeffrey D. Ullman， Volume 1 & Volume 2
  Prentice-Hall Series in Automatic Computation，1972
- Engineering a Compiler
  Keith Cooper, Linda Torczon, Morgan Kaufmann, 2003
- 内地

  陈火旺等（国防科大版） 陈意云等（中国科技大学版）
  王生原等（人民邮电版） 王生原等（清华大学第三版）

书面作业

- 原理部分书面作业
  - 随堂布置
  - 登记完成情况
  - 部分批阅

实验计划

✧ 基础实验项目

– 实现一个小型语言 MiniDecaf（C的小子集）

- 目标

  通过渐进式开发来逐步完成一个完整编译器

  掌握实现一个编译器的完整开发过程

- 过程

  6个阶段（12 个 step ）

- 编程语言

  两个框架二选一：C++ / Python

  如果你想用其他语言重写框架，请与助教联系

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage0:　一个完整编译器
      - step0:　环境配置，熟悉实验框架
      - step1:　仅一个 return 的 main 函数

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage1: 常量表达式

      step2: 一元算术运算

      step3: 二元算术运算

      step4: 比较和逻辑表达式

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage2: 变量和语句
      - step5: 局部变量和赋值
      - step6: if 语句和条件表达式

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage3: 作用域与控制语句

      step7: 作用域和块语句

      step8: 循环语句

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage4: 函数和全局变量
      - step9: 函数
      - step10: 全局变量

实验计划

- 基础实验项目
  - 实现一个小型语言 MiniDecaf（C 的小子集）
    - stage5: 数组

      step11: 数组

实验计划

- 基础实验项目
  - 基础实验项目分为基础关卡和升级关卡
  - 基础关卡（4个，必做）

    stage1、stage2、stage3、一个手工词法语法分析器
  - 升级关卡（2个，选做）

    stage4、stage5

    完成升级关卡可以减少期末考试占总评比例

考核计划

- 成绩分布 （100）
  - 原理部分书面作业+出勤（雨课堂） （10 %）
  - 基本实验成绩（必做，40%）
    - 共 4 个基础关卡（每个10%，代码8%，文档2%）
  - 升级实验成绩（选做，20%）
    - 共 2 个升级关卡（每个10%，代码8%，文档2%）
  - 期末考试
    - 没有完成升级关卡　　期末考试占 50%
    - 完成了 1 个升级关卡　期末考试占 40%
    - 完成了 2 个升级关卡　期末考试占 30%

答疑与交流

- 通过网络
  - 清华网络学堂（课程讨论区）

    问题探讨
  - 电子邮件
  - 微信群
- 面对面 （老师答疑可预约）
  - 助教固定答疑时间（节假日除外）

    待定
  - 地点

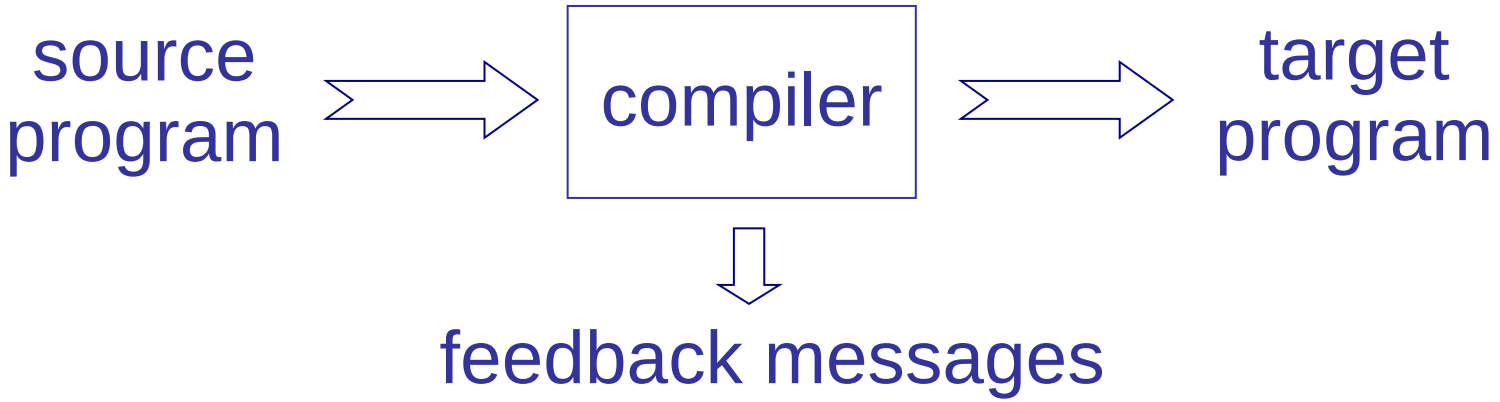
    东主楼 10 区 209 室

编译程序（系统）概述

- ✧ 什么是编译程序
- ✧ 编译程序的逻辑结构
- ✧ 编译程序的组织
- ✧ 编译程序的伙伴程序
- ✧ 编译程序与 T 型图

什么是编译程序

- 从基本功能来看，**编译程序**（*Compiler*）是一种**翻译程序**（*Translator*）
  - 将语言*A*的程序翻译为语言*B*的程序
  - 称语言*A*为**源语言**（*Source Language*）
  - 称语言*B*为**目标语言**（*Target Language*）



什么是编译程序

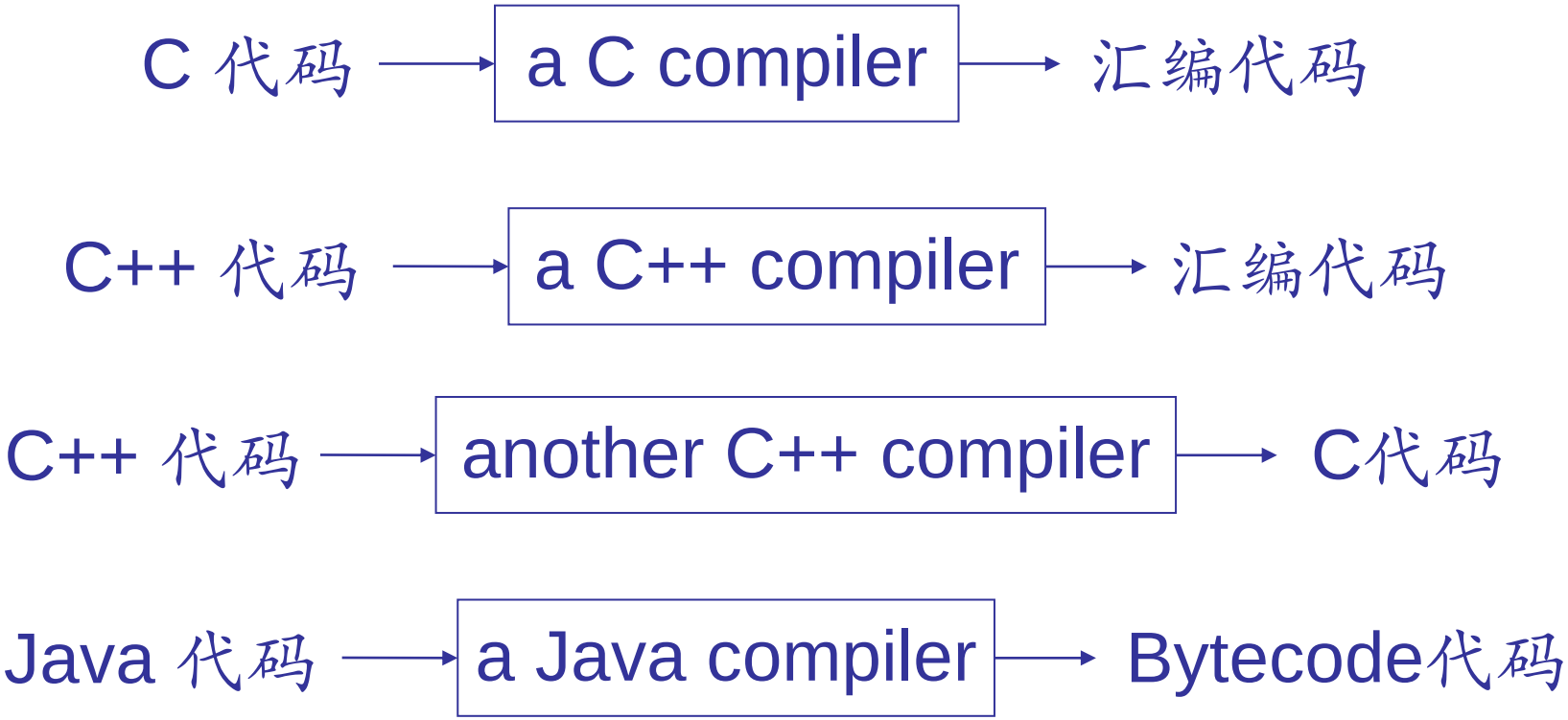
- 编译程序是较为复杂的翻译程序
  - 需要对源程序进行分析（*Analysis*）

    识别源程序的语法结构信息，理解源程序的语义信息，反馈相应的出错信息
  - 根据分析结果及目标信息进行综合（*Synthesis*）

    生成语义上等价于源程序的目标程序
- 较为简单的翻译程序如：
  - 预处理程序（*Preprocessor*）
  - 汇编程序（*Assembler*）

什么是编译程序

- 编译程序通常是从较高级语言的程序翻译至较低级语言的程序，如



什么是编译程序

✧ 传统的编译程序

- 源语言通常为高级语言（*High-Level Programming Languages*）

  Fortran, Algol, C, Pascal, Ada, C++, Java, Lisp, Prolog, Python…

- 目标语言通常为机器级语言（*Machine-Level Languages*） 或较低级的虚拟机语言

  汇编语言（*Assembly Languages*）

  机器语言（*Machine Languages*）

  Bytecode（*Java* 虚拟机语言）

什么是编译程序

✧ 编程语言的主要范型（*Paradigms*）

– 命令式语言（*Imperative Languages*）

描述问题如何实现（*how it to be done*）

程序具有状态,通过语句改变程序状态

Fortran, Algol, C, C++, Pascal, Basic, Java, C#, …

– 陈述式（或声明式）语言（*Declarative Languages*）

描述问题做什么（*what it to be done*）

程序无状态（对纯的陈述式语言而言）

函数式（*Functional*）:*Lisp, Scheme, Haskell, ML, Caml, …*

逻辑型（*Logic*）:*Prolog, …*

什么是编译程序

✧ 编程语言的主要范型（Paradigms）

- 面向对象语言（Object-Oriented Languages）

  基于对象（object-based，类,对象及对象间交互）

  面向对象（object-oriented，类,对象,对象间交互,继承及多态）

  如：Smalltalk, Simula67, Java, C++, C#, …

- 并发/并行/分布式语言

  （Concurrent / Parallel / Distributed Languages）

  Ada, Java, Modula-3, Linda, HPF, OpenMP, MPI, CUDA, …

  进程/线程/任务间通信：基于共享内存（memory/variable-sharing, 如OpenMP , Java ）,基于消息传递（message passing, 如MPI），基于远方过程调用（remote procedure/method call, 如Ada, Java），基于数据并行（data parallel,如HPF）

什么是编译程序

✧ 编程语言的主要范型（*Paradigms*）

– 其他

同步语言(*Synchronous Languages*）：面向实时控制，时钟周期同步，含时钟（*clock*）和时态(*temporal*)算子，如*Signal, Lustre…*

数据库语言(*database language*): *SQL,…*

脚本语言(*Scripting Languages*）：解释型语言,显式的 *glue together* 算子,如 *Perl, PHP, Python, Javascript…*

– 趋势：多范型融合

Java （低版本：并发，命令式面向对象；高版本：新增函数式）

Rust （混合范型：并发，面向对象，命令式，函数式）

什么是编译程序

✧ 编译架构（*Compiler Infrastructure*）

– 共享的编译程序研究/开发平台

SUIF (Stanford)
Zephyr (Virginia and Princeton)
IMPACT, LLVM (UIUC)
GCC （GNU Compiler Collection ）
Open64（SGI, 中科院计算所, Intel, HP, Delaware, 清华, …）
方舟编译器（华为，https://www.openarkcompiler.cn ）

– 多源语言多目标机体系结构

如 GCC有C, C++, Objective C, Fortran, Ada, and Java ， …
等诸多前端，以及支持30多类体系结构、上百种平台的后端

– 多级中间表示

如 Open64 的中间表示语言 WHIRL分5个级别

编译程序的逻辑结构

- 编译程序逻辑结构上至少包含两大阶段
  - 分析（*Analysis*）阶段

    理解源程序，挖掘源程序的语义
  - 综合（*Synthesis*）阶段

    生成与源程序语义上等价的目标程序

编译程序的逻辑结构

✧ 编译程序的前端、中端和后端

– 前端（*Front End*）

实现主要的分析任务

通常以第一次生成中间代码为标志

– 后端（*Back End*）

实现主要的综合任务（目标代码生成和优化）

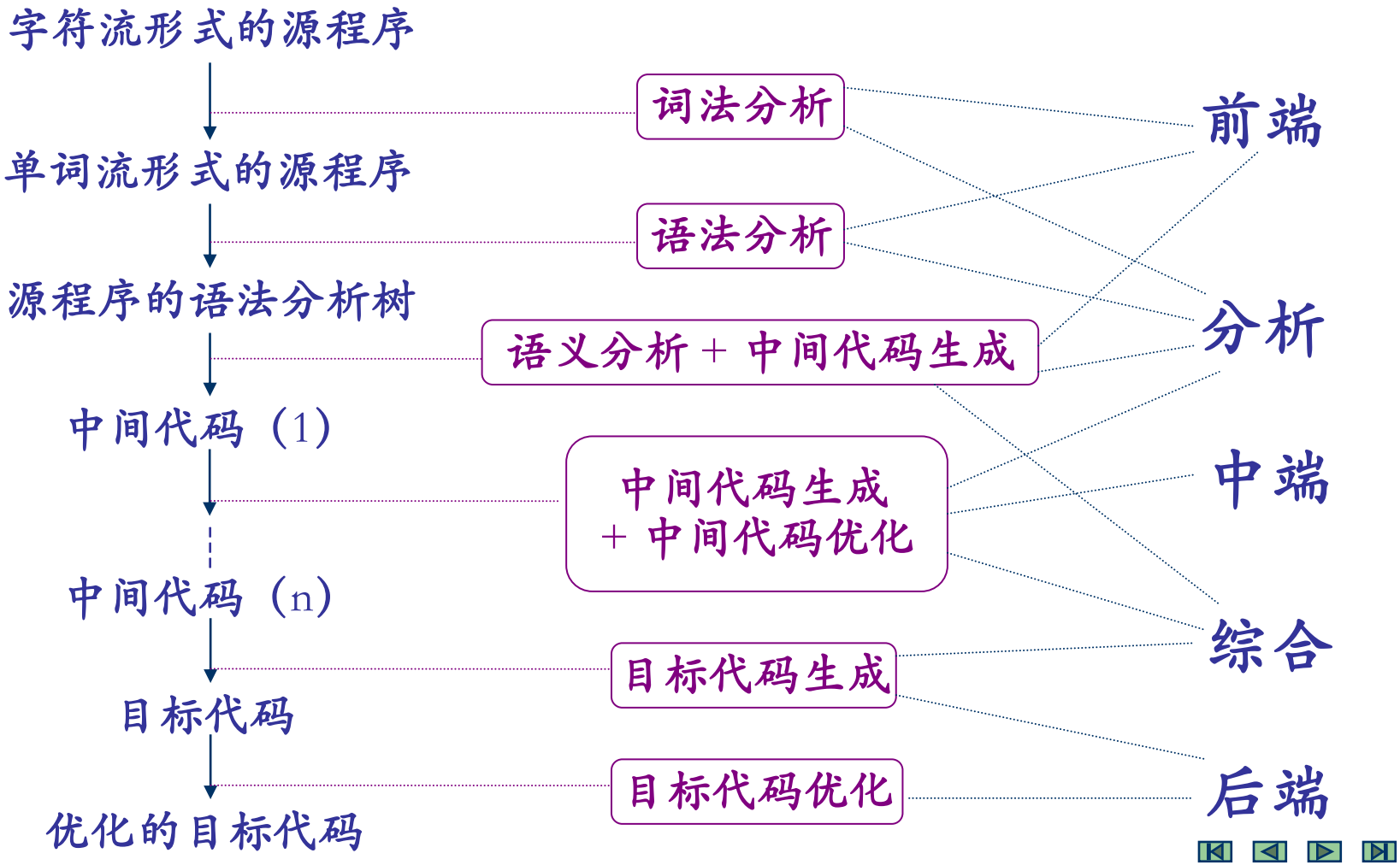
通常以从最后一级中间代码生成目标代码为标志

– 中端（*Middle End*）

实现各级中间代码上的操作（中间代码生成与优化）

编译程序的逻辑结构

✧ 典型编译程序的逻辑过程



编译程序的逻辑结构

✧ 词法分析

– 扫描源程序字符流，识别出有词法意义的单词，返回单词的类别和单词的值，或词法错误信息

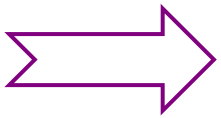
```
int main() {
    int a = 2022;
    return a;
}
```

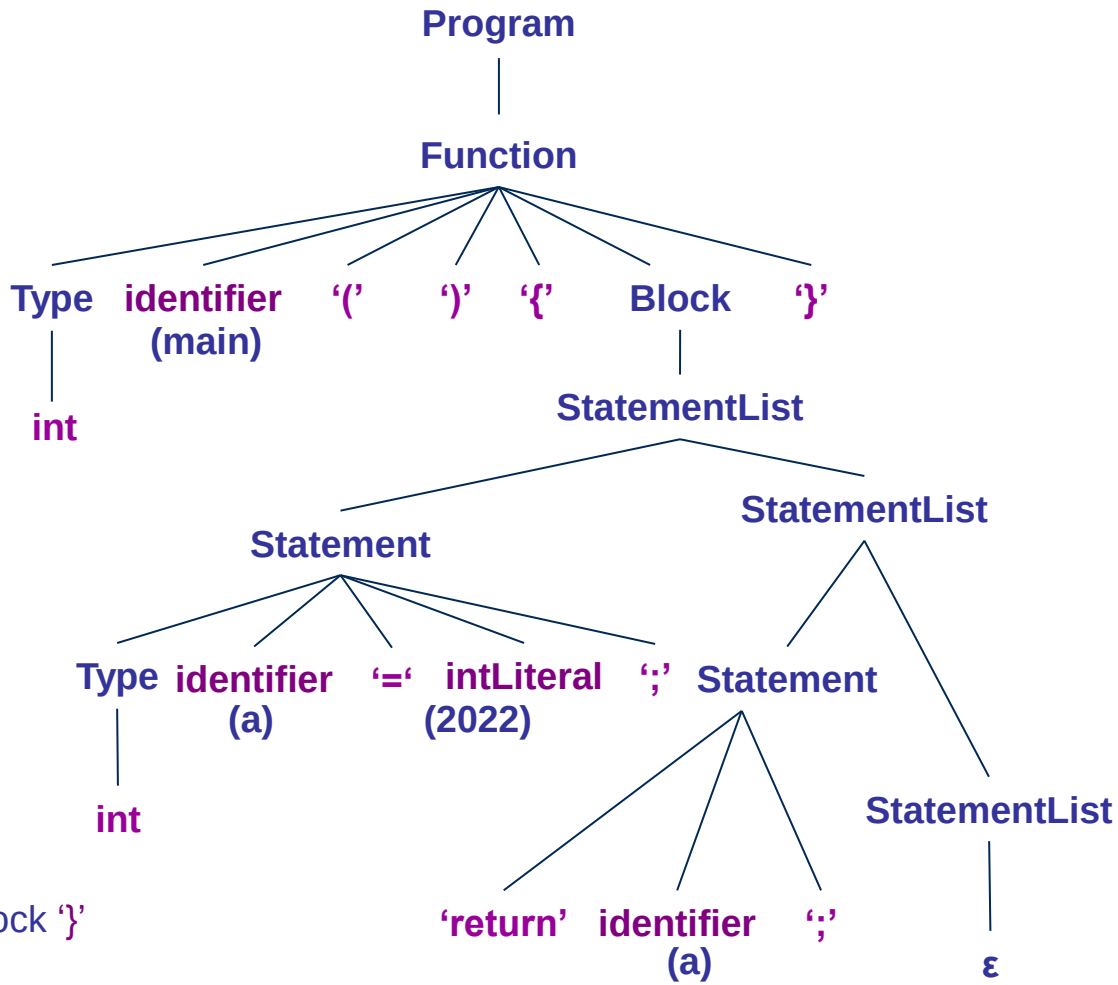
单词类别	单词值
保留字 int	
标识符	main
分隔符 (	
分隔符)	
分隔符 {	
保留字 int	
标识符	a
操作符 =	
整数型常量	2022
分隔符 ;	
保留字 return	
标识符	a
分隔符 ;	
分隔符 }	

编译程序的逻辑结构

✧ 语法分析

```
int main() {
    int a = 2022;
    return a;
}
```





Program -> Function
Function -> Type identifier ‘(’ ‘)’ ‘{’ Block ‘}’
Block -> StatementList
StatementList -> Statement StatementList | ε
Statement -> Type identifier ‘=’ intLiteral ‘;’ | ‘return’ identifier ‘;’
……

编译程序的逻辑结构

✧ 语义分析

– 对语法分析后的程序进行语义分析,不符合语义规则时给出语义错误信息

```
int main() {
    int a = 2022;
    a[1] = 2022;
                    Error: subscripted value is not array
    return b;
}                   Error: using undefined variable 'b'
```

编译程序的逻辑结构

✧ 符号表

– 收集每个名字的各种属性用于语义分析及后续各阶段

```
int main() {
    int a = 2022;
    return a;
}
```

全局作用域符号表

名称	类别	子符号表指针
main	function	

名称	类别	子符号表指针
a	variable	NULL

main 函数作用域符号表

编译程序的逻辑结构

- 出错处理
  - 检查错误

    报告出错信息（*error reporting*）
  - 排错

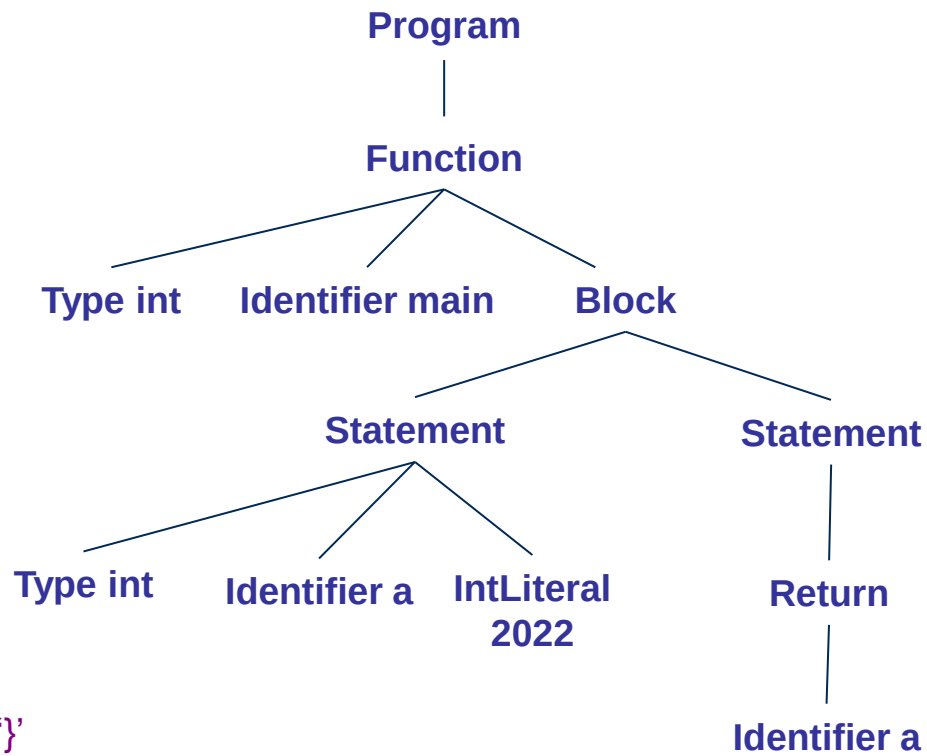
    恢复编译工作（*error recovery*）

编译程序的逻辑结构

✧ 中间代码生成

– 抽象语法树 AST

```
int main() {
    int a = 2022;
    return a;
}
```

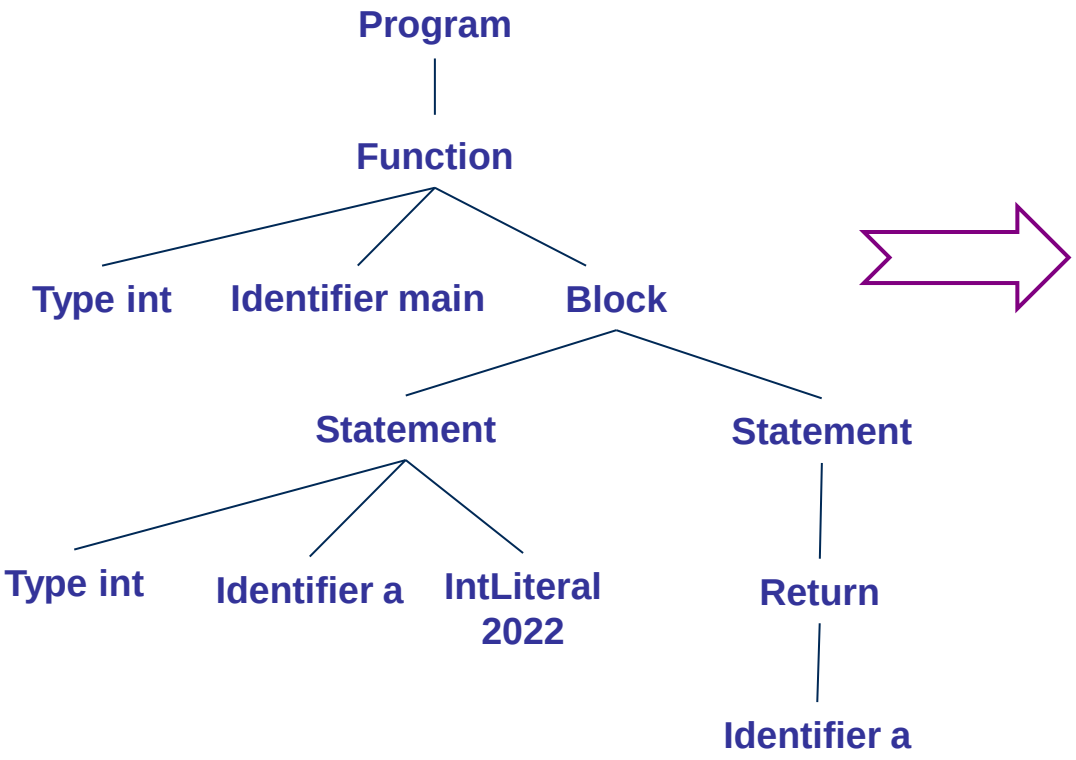


Program -> Function
Function -> Type identifier '(' ')' '{' Block '}'
Block -> StatementList
StatementList -> Statement StatementList | ε
Statement -> Type identifier '=' intLiteral ';' | 'return' identifier ';'
……

编译程序的逻辑结构

✧ 中间代码生成

– 三地址码 *TAC*

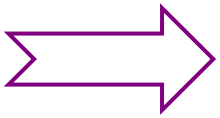


编译程序的逻辑结构

✧ 目标代码生成

– 生成目标机代码

```
main:
        _T0 = 2022
        _T1 = _T0
        return _T1
```

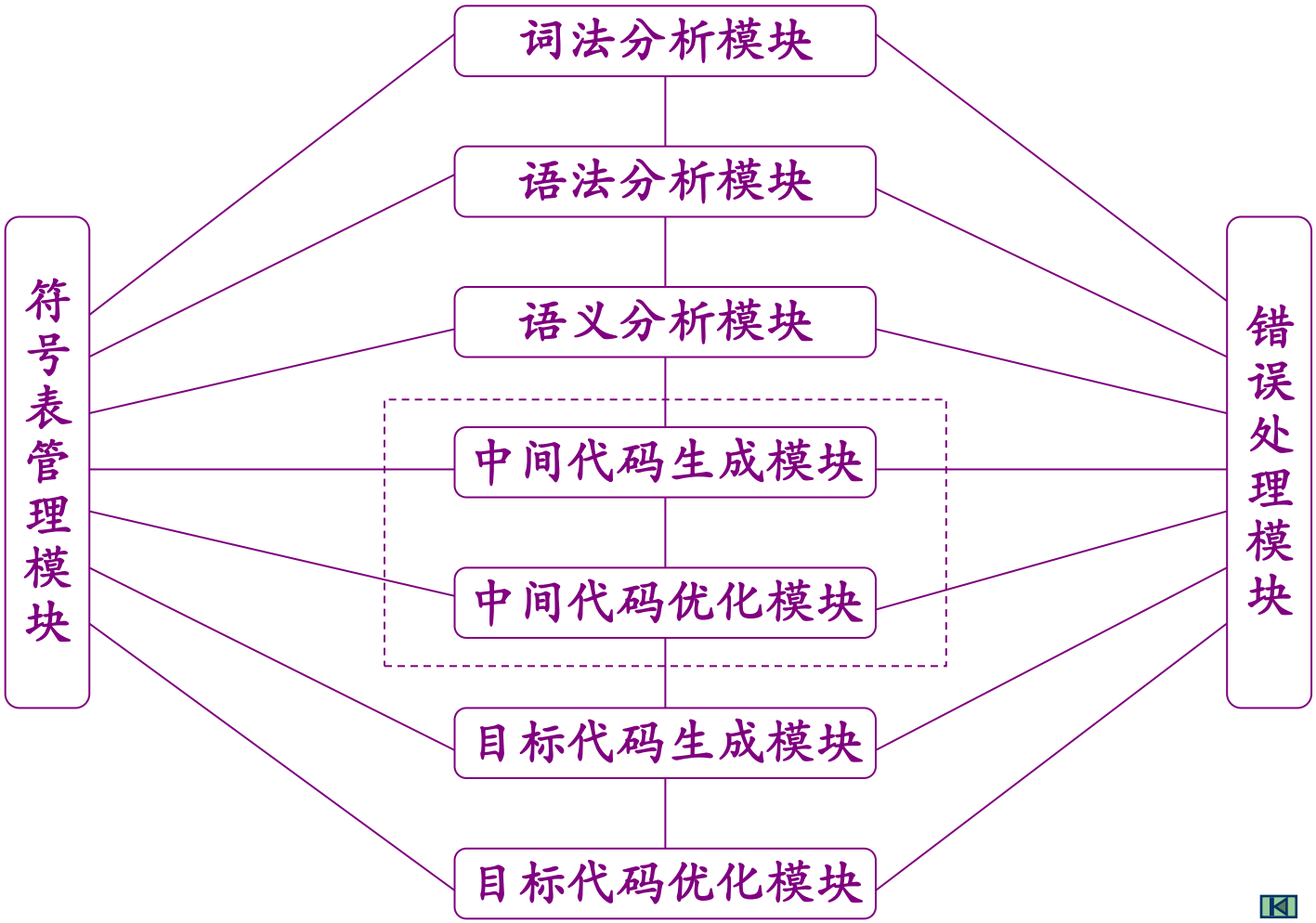


RISC-V 汇编码

```
        .text
        .globl main
main:
        li t0, 2022
        mv t1, t0
        mv a0, t1
        ret
```

编译程序的逻辑结构

✧ 小结: 典型编译程序的主要逻辑模块

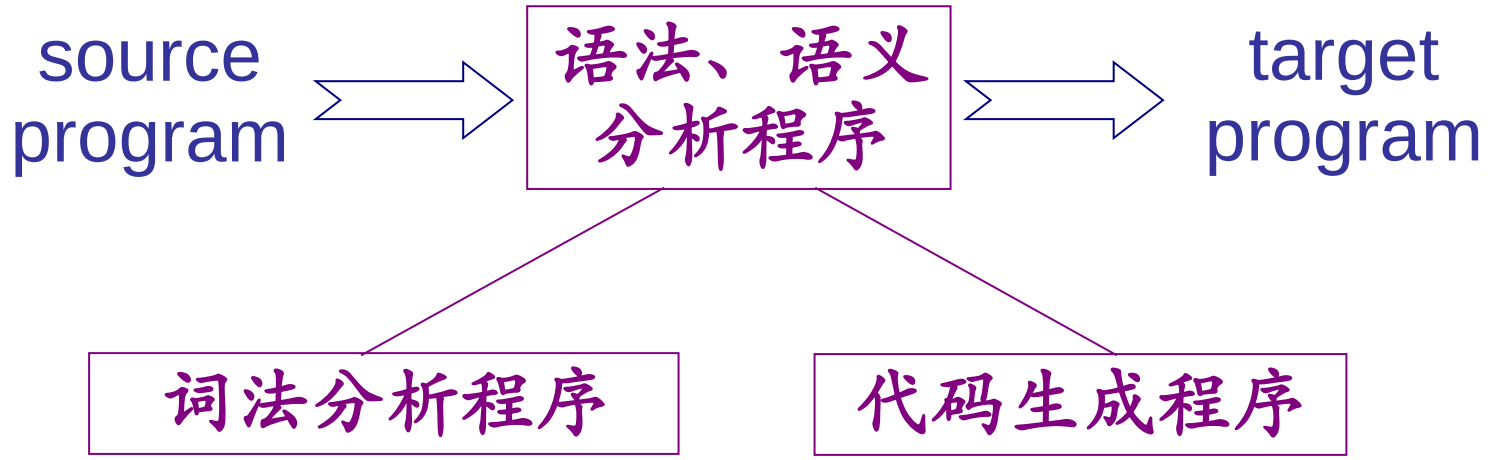


编译程序的组织

- 编译程序的遍（Passes / Phases）
  - 对一种代码形式从头到尾扫描一遍
  - 将一个代码空间变换到另一个代码空间
  - 代码空间 = 代码 + 符号表 + 其他有用信息
- 编译程序的组织取决于各遍的组织
  - 单遍编译程序，多遍编译程序
  - 多个遍之间有逻辑上的先后关系
  - 多个遍的实现可采用顺序结构或并发结构（后者不常用）

编译程序的组织

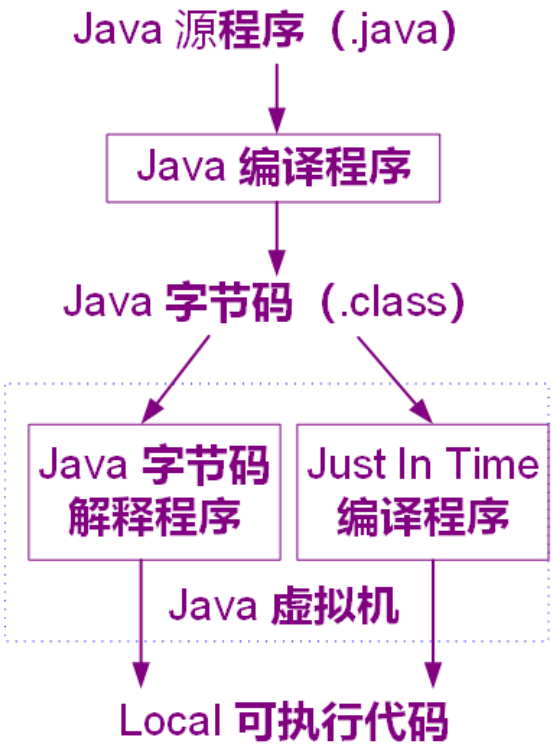
- 例：一个以语法、语义分析程序为中心的单遍编译程序组织



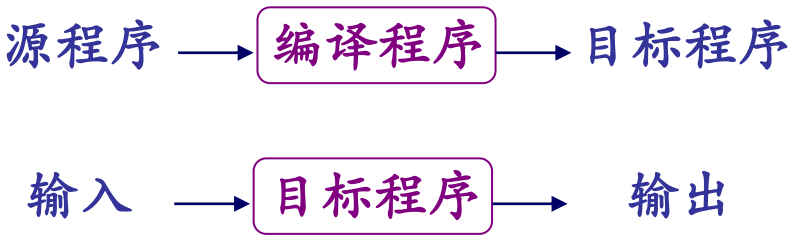
编译程序的伙伴程序

✧ 解释程序（*Interpreter*）

- 不产生目标程序文件
- 不区别翻译阶段和执行阶段
- 翻译源程序的每条语句后直接执行
- 程序执行期间一直有解释程序守候
- 常用于实现虚拟机



✧ 比较编译程序和解释程序



编译程序的伙伴程序

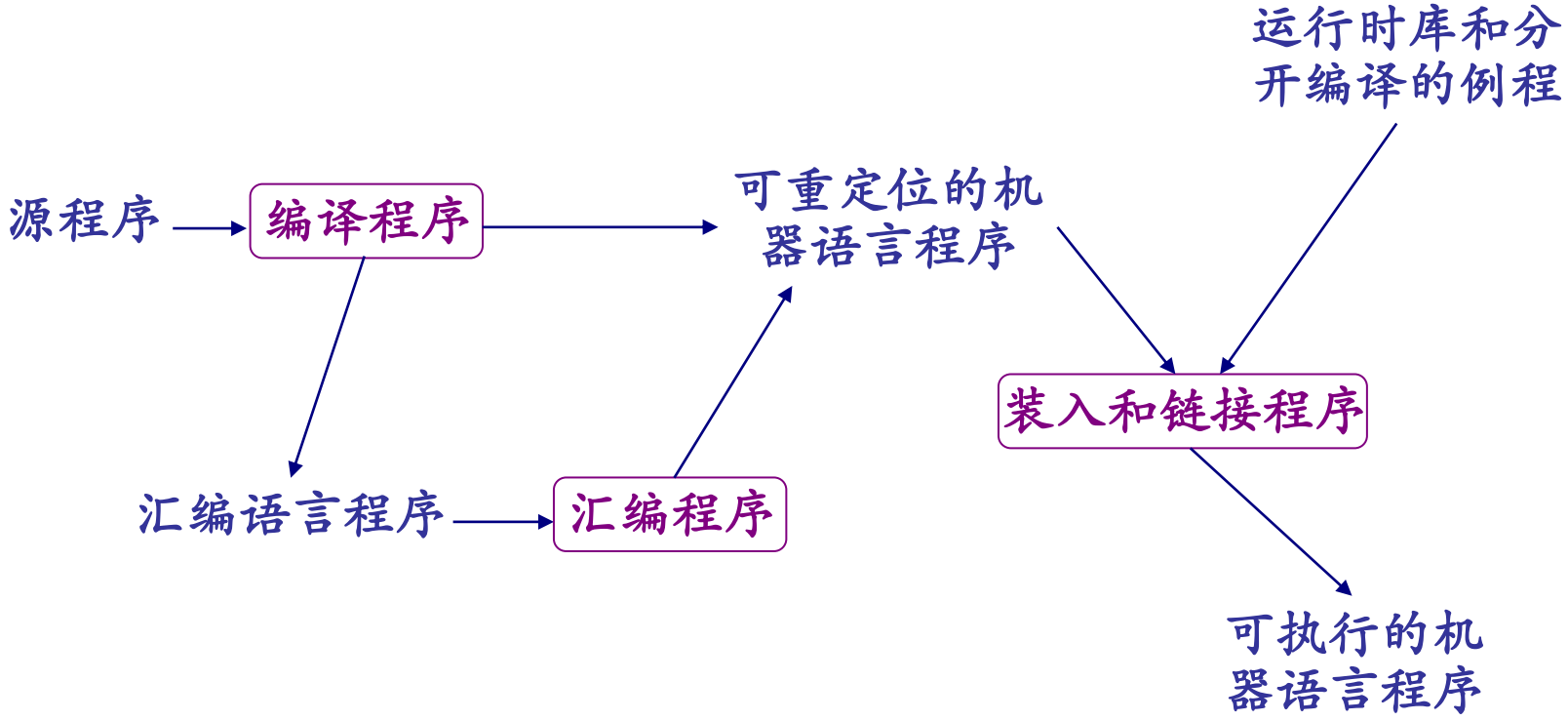
- 预处理程序（*Preprocessor*）
  - 支持宏定义（*Macro definition*）
    如C源程序中 #define 行的处理
  - 支持文件包含（*File inclusion*）
    如C源程序中 #include 行的处理
  - 支持其他更复杂的源程序扩展信息
- 预处理程序和编译程序的关系

编译程序的伙伴程序

- 汇编程序（*Assembler*）
  - 翻译汇编语言程序至可重定位的（*Relocatable*）机器语言程序
- 装入和链接程序（*Loader and Link-editor*）
  - 装入程序对可重定位机器语言程序进行修改
    将相对地址变换为机器绝对地址
  - 链接程序合并多个可重定位机器语言程序文件到同一个程序
  - 装入和链接程序产生最终可执行的机器语言程序

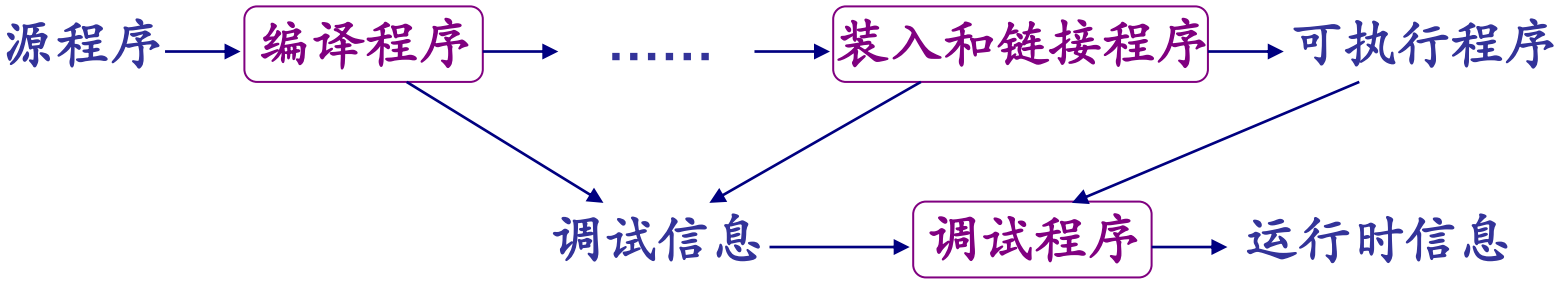
编译程序的伙伴程序

- 编译程序、汇编程序及装入和链接程序之间的典型关系



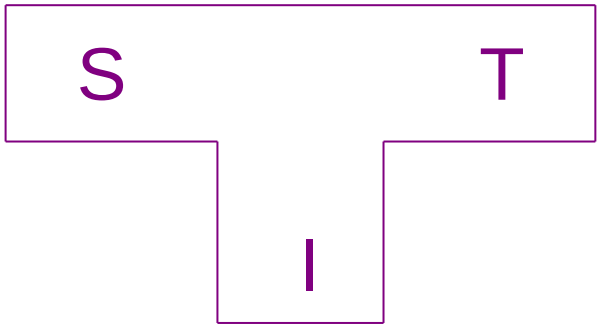
编译程序的伙伴程序

- 调试程序（*Debugger*）
  - 反馈目标程序运行时信息
  - 将目标程序运行时信息与源程序关联
  - 断点管理、单步跟踪、读/写目标机状态等功能
- 调试程序和编译程序的关系



编译程序与T型图

✧ T-型图 (表示一个编译程序)



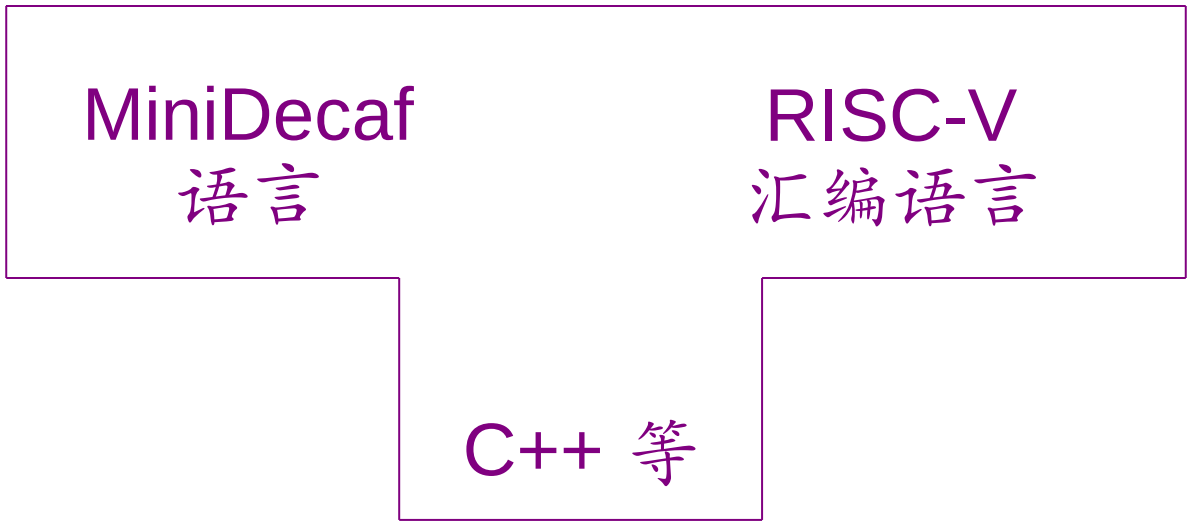
S： 编译程序所实现的源语言

T： 目标语言

I： 编译程序的实现语言

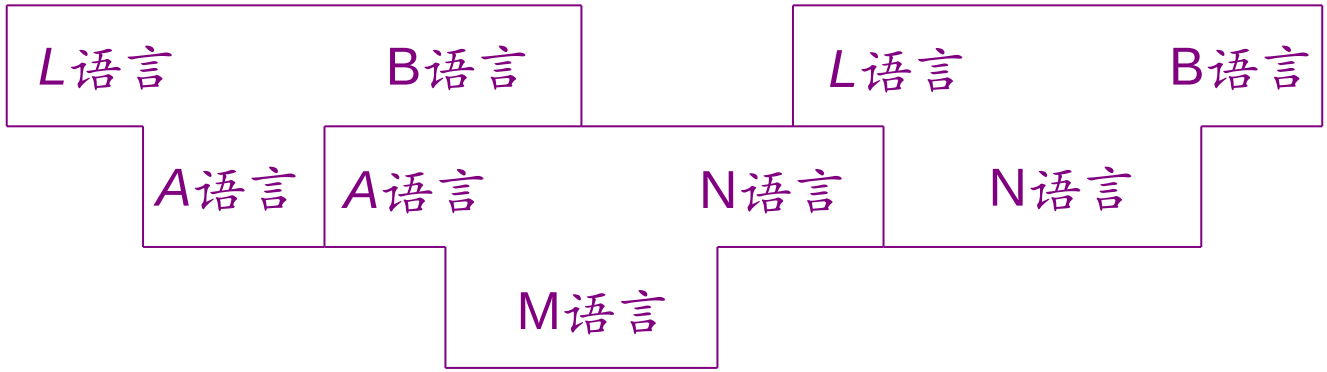
编译程序与 T 型图

✧ 例: MiniDecaf 项目中编译程序 T-型图



编译程序与T型图

✧ T-型图的叠加



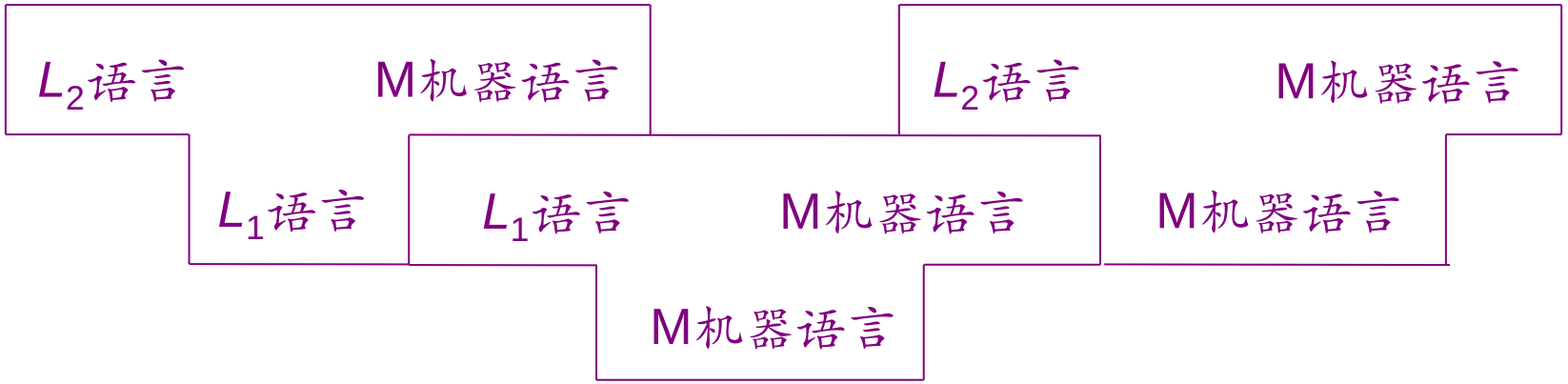
编译程序与T型图

✧ (M 机器上运行的)本地编译器

✧ (M 机器上运行的)交叉编译器

编译程序与T型图

✧ 用已有的语言 L_1 实现新的语言 L_2



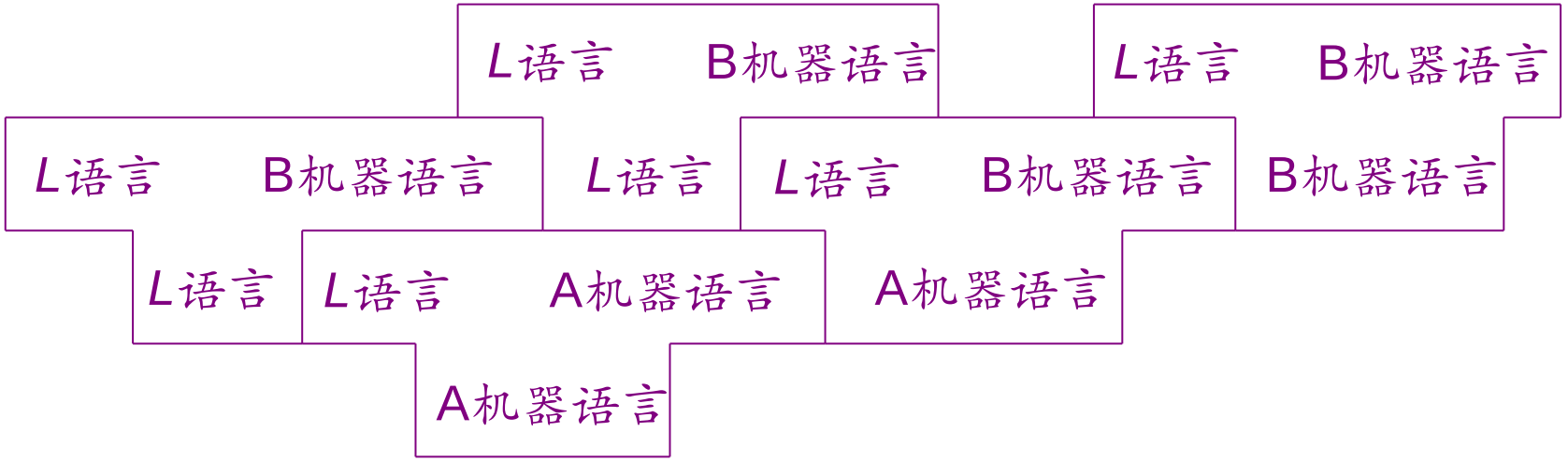
步骤：

(1) 用L_1语言编写L_2语言到M机器语言的编译程序

(2) 将该L_2语言编译程序用L_1语言编译程序进行编译

编译程序与T型图

✧ 编译程序的移植



将机器 A 上的语言 L 移植到机器 B，步骤：(1) 用L 语言编写 L 语言到B机器语言的编译程序X; (2) 用L编译程序对X进行编译，产生一个能在机器 A 上运行的产生 B 机器代码的编译程序Y（交叉编译程序）；(3) 再用Y 对X进行编译，得到可以在机器 B 上运行的L 语言编译程序

教学内容预览

✧ 教学形式

– 课内学习和课外学习内容互补

原理 + 技术 + 工具

课内　　课外

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

基本概念
逻辑结构
组织方式
伙伴程序
生成环境
2学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

词法分析基础
1 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

强调作用域及其组织方式

1 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

自顶向下语法分析
3 学时
自底向上语法分析
5 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

基于属性文法和翻译模式进行语义计算的基本原理及实现技术

3 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

以类型检查程序设计为重点

2 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

以常用语言机制的实现技术为主线

4 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

存储布局，
存储分配策略，
活动记录，
过程实现，
面向对象程序
存储组织，
……

3 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

以基本块内的简单优化方法、控制流数据流分析基础等代码生成和优化相关的基本知识为主线，辅以优化技术的综述

3 学时

教学内容预览

✧ 教学内容

– 课堂教学内容及课时计划

- 编译程序/系统概述
- 词法分析
- 符号表组织
- 语法分析
- 语法制导的语义计算基础
- 语义分析
- 中间代码生成
- 运行时存储组织
- 代码优化
- 目标代码生成

以简单但完整的指令选择、寄存器分配过程为主线

3 学时

教学内容预览

✧ 教学内容（实践部分）

– MiniDecaf 项目

- 词法和语法分析

  产生抽象语法树

- 静态语义分析

  遍历抽象语法树构造符号表、实现静态语义分析

- 中间代码生成

  生成中间表示

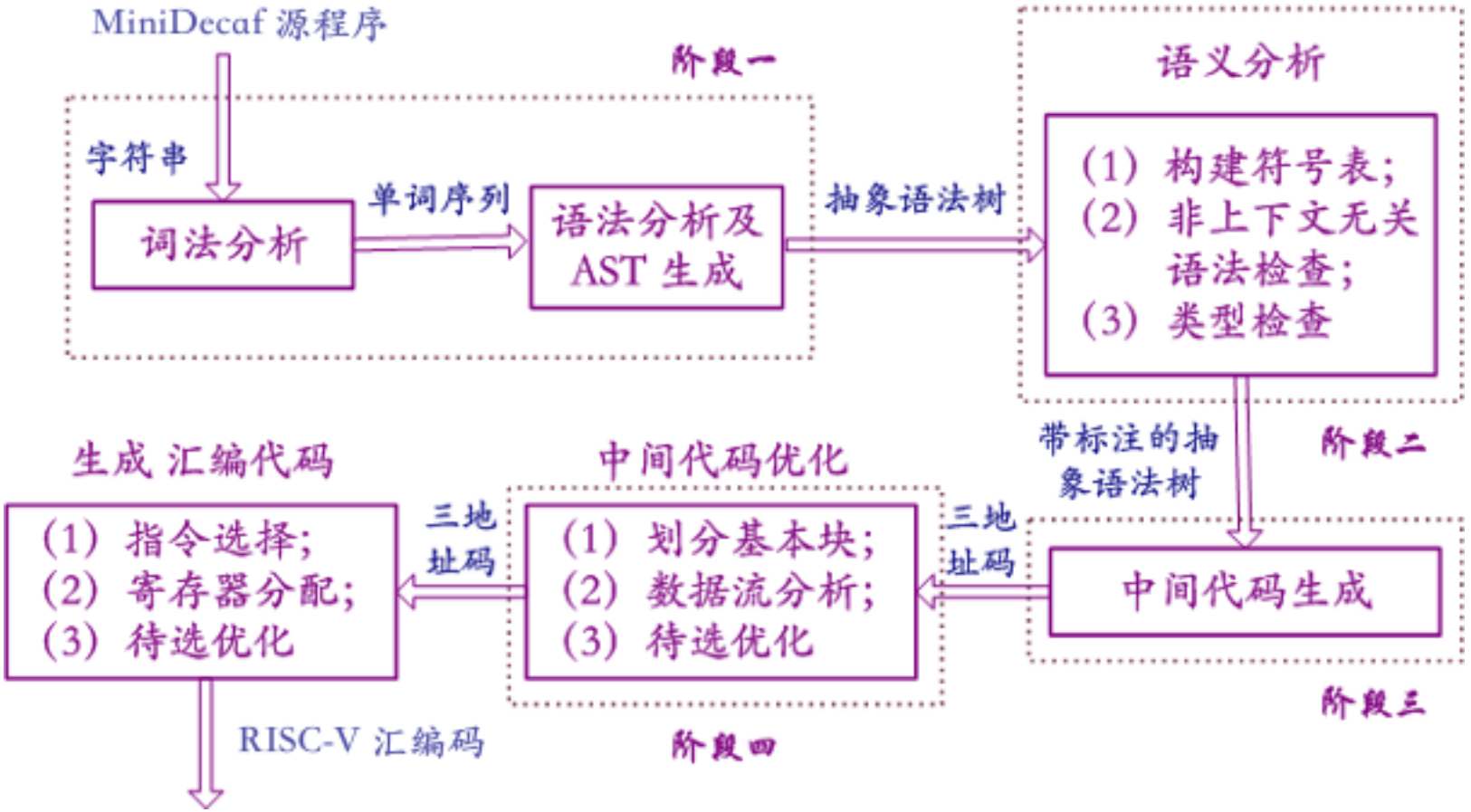
- 数据流分析及优化

  实验框架提供相关代码，供同学思考学习

- 目标代码生成

教学内容预览

✧ 课堂教学内容与实践框架的关联



汇编、链接、装入、执行

课后作业

1. 学习或复习《形式语言与自动机》

2. 准备实验相关工具与开发环境

3. 查阅有关 Lex & Yacc 的技术文档

That's all for today.

Thank You