

Project 5 - Translation

2025 年 12 月 1 日

1 项目要求

在 Project 5 中，你需要将一个通过了语义检查的 Splc 源代码翻译为 LLVM IR。

1.1 项目假设

在 Project 5 中，我们拥有如下假设：

- 样例不存在语法错误以及语义错误。
- 函数一定被 `return` 返回。
- 不存在指针相减¹。

并继承了如下假设：

- `specifier` 中的完整结构体规则出现时，它在语法树中一定是全局变量定义或全局结构体声明的任意次子节点，即它不会出现在函数参数（包含函数声明和函数定义）、函数体内；
- `specifier` 不再能够被推导为 `CHAR`，即 `char` 类型不再会出现；同时，表达式中的字符常量也不会出现。
- 样例中出现的结构体均是被完整声明过的，即不存在 `incomplete structure`。
- 函数声明与函数定义一定相符，即函数的返回类型与参数列表一定相同，你不需要进行额外检查。
- 函数的返回类型只能为 `int`。

1.2 扩展要求

扩展部分在每个 Project 之间都是独立计分的，在后续的 Project 中移除对某扩展部分的支持不影响前序 Project 的分数。也就是说，你可以选择在前面的 Project 中完成较为简单的扩展任务；如果你发现在后续的 Project 中完成扩展部分过于困难，你可以选择不完成后续 Project 的扩展部分，这样不会影响你前面 Project 的分数。

本项目的扩展部分与前序 Project 保持一致，你需要确保你的类型检查能够正确处理结构体和指针相关的语法。

¹由于指针相减需要计算一个类型的长度，而我们目前的类型系统尚未支持这一点。

2 程序的运行环境

你的程序可以调用以下函数，这些函数将以函数声明的方式存在于每个 Spic 源文件开头：

- `int readint()`：从标准输入流读取一个 `int` 并返回。
- `int writeint(int)`：向标准输出流打印一个 `int`，该函数的返回值永远为 0。
- `int setseed(int)`：设置伪随机数生成器的种子，该函数的返回值永远为 0。
- `int getrand()`：从伪随机数生成器中生成一个 `int` 并返回。
- `int assert_eq(int, int, int)`：对比第二个参数与第三个参数是否一致，不一致则退出程序。

你的程序的主函数入口为 `main0`。

Spic stdlib

```
int readint();
int writeint(int out);
int setseed(int seed);
int getrand();
int assert_eq(int where, int given, int expected);

int main0() {
    // TODO ...
    return 0;
}
```

3 framework 说明

初始代码位于 <https://github.com/sqlab-sustech/CS323-Compilers-2025F-Projects> 的 `project5-base` 分支。

你需要实例化一个 `framework.llvm.IRBuilder` 类，以此来构建 LLVM IR；构建完成后，使用 `llvm.AbstractGrader::printIR(IRBuilder)` 方法来打印生成的 IR。

若你需要修改 `framework` 包下的文件，请确保你的程序行为不依赖于你所修改的部分。在测评时，`framework` 包下所有文件均会被删除，然后替换为我们提供的版本。

3.1 表示 LLVM IR

`framework.llvm` 包中存在以下类用于表示 LLVM IR 中的实体：

- **IRType**: LLVM IR 的类型系统。支持 `i1`（逻辑值）、`i32`（普通 `int`）、数组、结构体、指针。
- **IRValue**: LLVM IR 中的一个 Identifier，分为 `Named Values` 与 `Constants` 两种，后者只能通过以下方式创建：
 - `IRValue::constNull()`: 返回一个 `ptr` 类型的常量 `null`。
 - `IRValue::consti32(int)`: 返回一个 `i32` 类型的常量。
 - `IRValue::constTrue()`、`IRValue::constFalse()`: 返回一个 `i1` 类型的常量，表示逻辑中的 `true` 与 `false`。
- **Inst**: 表示 LLVM IR 中的一条指令，目前我们仅支持以下指令：
 - Terminator Instructions: `ret`, `br`（包括无条件跳转与有条件跳转）
 - Binary Operations: `add`、`sub`、`mul`、`sdiv` 与 `srem`（有符号除法、余数）
 - Memory Access and Addressing Operations: `alloca`、`load`、`store`、`getelementptr`
 - Other Operations: `icmp`、`call`、`zext`（用于扩展 `i1` 到 `i32`）

3.2 翻译源代码

首先，你需要创建一个全局唯一的 `IRBuilder` 实例。

然后，你可以使用 `defineStructure`、`defineGlobalVar`、`declareFunction` 来处理结构体声明、全局变量定义和函数声明。

随后，使用 `defineFunction` 来开始翻译函数定义（包含函数体）。该方法会返回一个 `FunctionBuilder`，专门用于构建一个函数体；它会创建一个 `BasicBlockBuilder` 作为 root Block (entry basic block)，你也可以使用 `FunctionBuilder::newBasicBlock` 来创建一个新的 `BasicBlockBuilder`。

在每个 `BasicBlockBuilder` 中，你可以开始添加指令。其方式为调用 `BasicBlockBuilder` 下预定义的 `ret`、`alloca` 等函数。这些函数会进行基本的检查，以帮助你尽早定位问题，例如：

- 不能向一个 Terminated Basic Block 中添加新指令。
- `add`、`sub` 等指令要求两个操作数类型相同。
- `load`、`store` 等指令要求传入一个指针。

所有产生一个值的指令，其在 `BasicBlockBuilder` 中对应的创建函数都会返回一个 `IRValue` 对象，它的名字可以通过创建函数的最后一个参数 `String name` 传入。如果你不想为它取名，你也可以传入 `null`，`FunctionBuilder` 将为你取一个函数体内唯一的名字。

4 测试你的编译器

我们为 Project 5 创建了一套测试框架，它位于 `project5_testcases` 目录下：

- 形如 `text[0-9]*` 的文件夹表示一个测试样例，里面可以包含 `n` 对测试点（一个输入文件，对应 `readint` 方法；一个输出文件，用于比对 `writeint` 的输出）。
- `Makefile` 以及一些辅助脚本。

`Makefile` 有如下功能：

1. `make refs`：将所有测试样例使用 `clang-19` 与 `splc crt.c` 编译为参考可执行文件，每个样例将被编译为三份：普通、带 `UBSan` 与带 `ASan` 的二进制。
2. `check_testcases.sh`：运行所有测试样例的三种二进制，重定向 `stdin` 为每个样例的输入文件，并比 `stdout` 和每个样例的输出文件。你可以使用这两个工具测试你的测试样例是否正确（见 5.2 章节）。
3. `make genir`：通过 `IDEA` 产生的 `Java class` 文件，调用你的编译器，将每个测试样例编译到 `LLVM IR`。
你需要在 `Makefile` 中的 `IDEA_TARGET` 配置 `IDEA` 编译产物路径。
`genir` 的每个 `Target` 都自动设置了 `IDEA_TARGET` 下所有 `*.class` 文件作为依赖：如果你修改了你的编译器代码，在 `IDEA` 中重新编译一次，再执行 `Make genir`，`Makefile` 会自动地重新生成所有 `IR`。
4. `make compileir`：使用 `clang-19` 编译你的所有 `IR`，每个 `IR` 将被编译为普通版本和带 `ASan` 的版本。
5. `testir.sh` 与第二条类似，运行由你的编译器产生的 `LLVM IR`，对比每个测试点的输出与标准输出。

5 评分

Project 5 将采用互相评分的模式，简而言之：你的每份提交不仅需要携带编译器实现，还需要携带一些测试样例；你的编译器实现将会使用其他同学的测试样例进行评测，并以此作为重要的评分依据。

5.1 测试样例

每一份测试样例均满足以下要求：

- 由一份源代码与 5 对标准输入和标准输出组成。
- 源代码不存在词法错误、语法错误、语义错误，且满足上述项目假设。（我们将通过一个独立的程序来验证它）。
- 不存在 Undefined Behavior 与内存错误。
- 程序的行为是确定性的（Deterministic）：对于一样的输入，它总是输出一样的内容。

我们在运行环境中支持了伪随机数生成器，你可以按需指定其种子。

5.2 测试样例要求

你的提交需要额外携带 10 份测试样例，其中 6 份不包含结构体与指针扩展、2 份仅包含结构体扩展、2 份为包含结构体和指针扩展。

你所提交的每份测试样例都必须满足上述要求。你所提交的测试样例将进行如下步骤进行验证：

1. 以 `clang-19 -Wall -Werror -g -O0` 进行编译，必须不存在编译错误。
2. 增加编译参数 `-fsanitize=undefined` (UBSan)，运行所有标准输入，所得到的结果必须与标准输出一致，并且 UBSan 没有报错。
3. 增加编译参数 `-fsanitize=address` (ASan)，运行所有标准输入，所得到的结果必须与标准输出一致，并且 ASan 没有报错。

若完成以上步骤，你的测试样例（包含源程序与 5 个测试点）将被视为一个合法的测试样例，并被纳入共享测试集合（Shared Tests）。

5.3 评测

我们会对你的编译器进行两部分评测。对于每个测试样例，通过所有测试点才认为通过。

- **Official Tests:** 由教学团队撰写的测试集合，我们会在测试前完整公布。其中，基础部分、结构体扩展与指针扩展的比例为 6:2:2。
- **Shared Tests:** 由所有同学提交的测试样例所组成的测试集合，我们不会公布这一部分。

5.4 评分

你的分数是以下三部分之和：

- **Official Tests:** 该项满分 50 分，取决于通过测试样例的占比，每个测试样例分值相同。
- 你提交的 10 份测试样例中合法样例的个数：该项满分 10 分，每个测试样例为 1 分。
- **Shared Tests:** 你的编译器在该集合上的通过率为 $p\%$ ，则得分为 $\min(40, 45 \times p\%)$ 。