编译原理 (A) 大作业

算符优先分析表和卷积优化

李子龙 518070910095 [单人完成]

2021 年 6 月 26 日

目录

第一部分　算符优先分析表

运行环境

操作系统　Windows
语言　Rust[1]

```
opg [filename]
```

程序输出

样例 1 输入

```
E -> E + T | T
T -> T * F | F
F -> ( E ) | i
```

样例 1 输出

```
      *     (     )     +     i     $
*     >     <     >     >     <     >
(     <     <     =     <     <
)     >           >     >           >
+     <     <     >     >     <     >
i     >           >     >           >
$     <     <           <     <     =
```

样例 2 输入

```
E -> E + E | E * E | ( E ) | id
```

样例 2 输出

```
The grammar is ambiguous.
```

1 题目分析

首先需要声明在算符优先语法中算符优先级的定义 [2]。

定义 1 对于两个终结符 T_1 和 T_2，有下面的算符优先级定义（其中 U_1 是非终结符）

1. $T_1 = T_2$ 如果存在产生式 $U \to xT_1T_2y$ 或 $U \to xT_1U_1T_2y$。
2. $T_1 < T_2$ 如果存在产生式 $U \to xT_1U_1y$ 而且存在一个推导 $U_1 \Rightarrow z$ 使得 T_2 是 z 的最左终结符。
3. $T_1 > T_2$ 如果存在产生式 $U \to xU_1T_2y$ 而且存在一个推导 $U_1 \Rightarrow z$ 使得 T_1 是 z 的最右终结符。

本部分即针对一个上下文无关文法，输出算符优先分析表。如果文法是有二义性的，将会报错。如果两个终结符之间没有上述三个关系的其中一个，将会留空，意为没有优先关系。

根据定义 1，可以对符号构造下面两个集合以判断情况 2 和 3：

定义 2 假设 V_T 是该文法终结符号对应的集合，V_N 是该文法非终结符号对应的集合。对符号 U_1 定义下面两个集合：

$$FIRSTVT(U_1) = \{T|(U_1 \Rightarrow Ty \vee U_1 \Rightarrow U_2Ty) \wedge T \in V_T \wedge U_2 \in V_N\} \quad (1)$$

$$LASTVT(U_1) = \{T|(U_1 \Rightarrow xT \vee U_1 \Rightarrow xTU_2) \wedge T \in V_T \wedge U_2 \in V_N\} \quad (2)$$

除了上面的定义方法，对于这样的集合，还有这样的性质：

$$(U_1 \Rightarrow U_2y) \Rightarrow FIRSTVT(U_2) \subseteq FIRSTVT(U_1) \quad (3)$$

$$(U_1 \Rightarrow xU_2) \Rightarrow LASTVT(U_2) \subseteq LASTVT(U_1) \quad (4)$$

这样定义 1 就有了如下的等价定义：

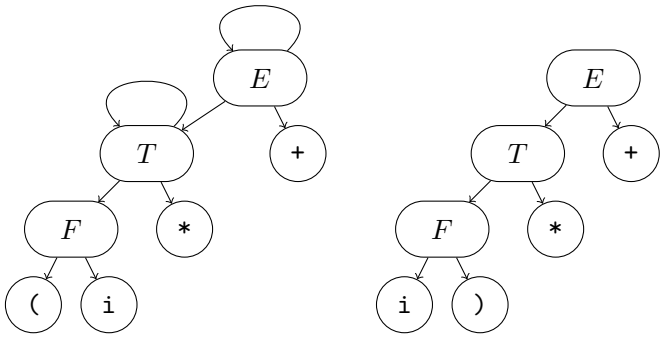
定义 3 对于两个终结符 T_1 和 T_2，有下面的算符优先级定义（其中 U_1 是非终结符）

1. 如果找到了这样的产生式右部 T_1T_2 或 $T_1U_1T_2$，那么 $T_1 = T_2$。
2. 如果找到了这样的产生式右部 T_1U_1 且 $T_2 \in FIRSTVT(U_1)$，那么 $T_1 < T_2$。
3. 如果找到了这样的产生式右部 U_1T_2 且 $T_1 \in LASTVT(U_1)$，那么 $T_1 > T_2$。

2 算法描述

2.1 集合依赖关系

首要任务就是对于每一个非终结符求出 $FIRSTVT$ 和 $LASTVT$。式 (1) 和 (2) 所对应的终结符为图中的盲端，式 (3) 和 (4) 所对应的非终结符导出的依赖节点为中间节点。这样就可以构造出集合的依赖关系有向图。



(a) $FIRSTVT$ 依赖关系图　　(b) $LASTVT$ 依赖关系图

图 1: 依赖关系图

2.2 三进 DFS

一进 DFS：归并分类　现在的依赖关系图依然是有向有环图。根据包含关系的特性，如果出现

$$S_1 \subseteq S_2 \subseteq \cdots \subseteq S_n \subseteq S_1$$

所对应的环路

$$S_1 \to S_2 \to \cdots \to S_n \to S_1$$

则这些集合都是相等的：

$$S_1 = S_2 = \cdots = S_n$$

使用 DFS 检测环路，并采用类似并查集的方法归并同类的元素，记录每个非终结符所对应的集合号码，以及每一类的非终结符集合。

表 1: 类别号码

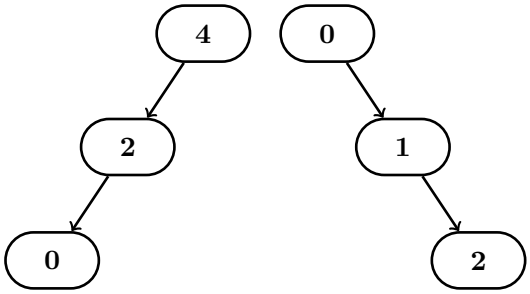
(a) *FIRSTVT*

F	E	T
0	**2**	**4**

(b) *LASTVT*

F	E	T
1	**2**	**0**

二进 DFS：连接消环 通过再一次的 DFS 构造类别之间的 DAG（有向无环图），因为此时同类型内部的环边已经被消除。



(a) *FIRSTVT* (b) *LASTVT*

图 2: 类别连接

三进 DFS：映射输出 对于每一个非终结符，查类别号码表 1 得到其对应类别，然后在类别连接图 2 中从该类别节点进行 DFS，合并路上对应的终结符节点，就可以得到该非终结符对应的集合。

表 2: 集合

(a) *FIRSTVT*

E	`i + ( *`
T	`i ( *`
F	`i (`

(b) *LASTVT*

E	`i + ) *`
T	`i ) *`
F	`i )`

2.3 识别关系

最后一步，就是根据定义 3 来遍历产生式检测终结符号之间的优先关系了。在识别之前，需要现在产生式的集合中加入对于开始符号的输入首尾

标记：

$$E \to \$E\$$$

因为该符号比较特殊，其优先级是额外定义的 [3]：

$$\$ < T, T > \$, \$ = \$, \quad \forall T \in V_T$$

并不属于原有的语法，所以要在这个地方再加入。

最终就可以得到本部分开头的程序输出。

3 函数接口

以下是运行样例 1 时由 uftrace[4] 生成的函数调用列表。

```
std::rt::lang_start() {
  std::rt::lang_start::_{{closure}}() {
    std::sys_common::backtrace::__rust_begin_short_backtrace() {
      core::ops::function::FnOnce::call_once() {
        main::main() {                              // 程序入口
          main::opg_generate() {                    // 生成函数
            main::gen_productions();                // 生成产生式
            main::gen_non_terminals();              // 生成非终结符
            main::gen_firstvt() {                   // 构造 FIRSTVT 集
              main::dfs::compose_elements() {       // 聚合元素
                main::dfs::Dfs::dfs() {             // DFS 函数
                  main::dfs::Dfs::dfs_merge() {     // 一进 DFS
                    main::dfs::Dfs::merge();        // 一进 DFS 子函数
                  } /* main::dfs::Dfs::dfs_merge */
                  main::dfs::Dfs::dfs_conn();       // 二进 DFS
                  main::dfs::Dfs::dfs_map();        // 三进 DFS
                } /* main::dfs::Dfs::dfs */
              } /* main::dfs::compose_elements */
            } /* main::gen_firstvt */
            main::gen_lastvt() {                    // 构造 LASTVT 集
              main::dfs::compose_elements() {
                main::dfs::Dfs::dfs();
              } /* main::dfs::compose_elements */
            } /* main::gen_lastvt */
            main::get_terminals();                  // 生成终结符
            main::find_eq();                        // 寻找相等关系
            main::find_less();                      // 寻找小于关系
            main::find_greater();                   // 寻找大于关系
            _<main..table..OpTable as core..fmt..Display>::fmt() { // 输出
              main::table::OpTable::to_string();
            } /* _<main..table..OpTable as core..fmt..Display>::fmt */
            main::table::OpTable::to_string();
          } /* main::opg_generate */
        } /* main::main */
      } /* core::ops::function::FnOnce::call_once */
```

```
    } /* std::sys_common::backtrace::__rust_begin_short_backtrace */
  } /* std::rt::lang_start::_{{closure}} */
} /* std::rt::lang_start */
```

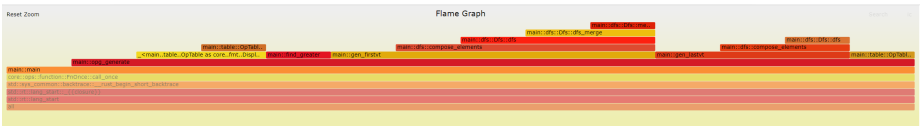
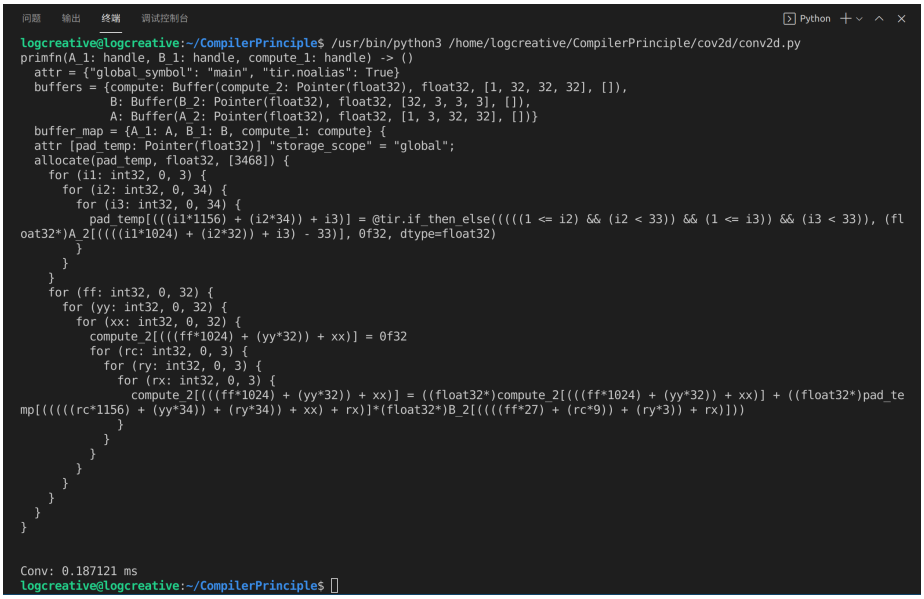


图 3: 火焰图 [5]

以上结果由 该脚本 生成。关于函数的更多信息，请访问 API 文档。

第二部分　卷积优化

运行截图



优化结果

输入大小和输出大小	优化前	优化后	提升效率
`n, ic, ih, iw = 1, 3, 32, 32 oc, kh, kw = 32, 3, 3`	0.187121 ms		
`n, ic, ih, iw = 100, 512, 32, 32 oc, kh, kw = 1024, 3, 3`	493806.119851 ms	160967.332992ms	67.4%

参考文献

[1] C. N. Steve Klabnik, *The Rust Programming Language (Covers Rust 2018)*. Random House LCC US, 2019. [Online]. Available: https://www.ebook.de/de/product/37149179/steve_klabnik_carol_nichols_the_rust_programming_language_covers_rust_2018.html

[2] R. W. Floyd, "Syntactic analysis and operator precedence," *Journal of the ACM*, vol. 10, no. 3, pp. 316–333, Jul. 1963.

[3] Operator-precedence grammar. Wikipedia. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Operator-precedence_grammar

[4] namhyung, "uftrace." [Online]. Available: https://github.com/namhyung/uftrace

[5] brendangregg, "FlameGraph." [Online]. Available: https://github.com/brendangregg/FlameGraph