# Lab4.2 实验报告

李远航 PB2000137

## 实验要求

在 SSA IR 基础上，实现一个基于数据流分析的冗余消除的优化 Pass : Global Value Numbering（全局值编号）

## 实验难点

- 对 `c++` 的智能指针，虚函数等概念理解不透彻
- 理解并翻译伪代码的过程存在困难
- 调试的过程存在困难，由于层层嵌套的结构，调试时观察变量的值并不方便

## 实验设计

- `detectEquivalences()`
  - 先将全局变量加入等价类
  - 其次加入函数的形参
  - 根据每一个bb块前驱的数量，更新当前bb块的 `pin_`
  - 依次遍历函数的每一个bb块，对每一条指令调用 `transferFunction`
  - 遍历当前bb块的后续块中的 `phi` 指令，完成 `copy statement`

```
// 简略给出
void GVN::detectEquivalences()
{
    bool changed = false;
    // initialize pout with top
    // iterate until converge
    auto entry = func_->get_entry_block();
    pin_[entry] = {};
    auto p = clone(pin_[entry]);
    auto &args_var = func_->get_args();
    // add args
    auto &globalvar = m_->get_global_variable();
    // add global value
    for (auto &instr : entry->get_instructions())
        if (!instr.is_void())
            p = transferFunction(&instr, &instr, p);

    auto bb_ne = entry->get_succ_basic_blocks();
    if (bb_ne.size() != 0)
    {// copy statement for entry block
    }
```

```
    pout_[entry] = std::move(p);
    for (auto &bb : func_->get_basic_blocks())
    {//赋初值 Top
    }
    do
    {
        changed = false;
        for (auto &bb : func_->get_basic_blocks())
        {
            now_bb = &bb;
            if (&bb == entry)
                continue;
            if (bb.get_pre_basic_blocks().size() >= 2)
                //join
            else
                //clone

            auto p = clone(pin_[&bb]);
            for (auto &instr : bb.get_instructions())
                if (!instr.is_void())
                    p = transferFunction(&instr, &instr, p);

            // copy statement
            auto bb_ne = bb.get_succ_basic_blocks();

            //判断变化
            if (p != pout_[&bb])
                changed = true;
            pout_[&bb] = std::move(p);
        }
    } while (changed);
}
```

- `transferFunction()`
  - 依次调用`valueExpr()`和`valuePhiFunc()`
  - 先在已有的等价类中寻找是否存在`ve`或者`vpf`等价的项，如果有则加入
  - 否则，为当前的指令的左值新建一个等价类

```
GVN::partitions GVN::transferFunction(Instruction *x, Value *e, partitions
pin)
{
    partitions pout = clone(pin);
    //remove

    auto ve = valueExpr(dynamic_cast<Instruction *>(x), pin);
    auto vpf = valuePhiFunc(ve, pin);
    bool flag = true;
    //寻找是否有等价

    if (flag)
    {
        // 新建等价类
        auto cc = createCongruenceClass(next_value_number_++);
        pout.insert(cc);
    }
```

```
        return pout;
    }
```

- `valueExpr()`
  - 具体指令分别具体分析（可能过度讨论了？）
  - 在获得指令的操作数后，先在已有的等价类中寻找，如果找到相应的操作数，则将该操作数替换成与该等价类对应的 `ve` 或者 `vpf`，否则，新建一个 `VarExpression`（会在后续介绍）
  - 对于常量操作数，先通过 `dynamic_cast` 判断是否为常数，是则搜索等价或者新建一个 `ConstantExpression`
- `valuePhiFunc()`
  - 先判断传入的值表达式是否为 `PhiExpression` 作二元运算的形式
  - 是则取操作数，生成新的 `BinaryExpression`，并完成常量折叠，去前驱块中寻找是否出现过
  - 返回空或者新的 `PhiExpression`
- `join()` 和 `insersect()`
  - 先特判 `Top` 的情况
  - 取交集，如果出现 `index_` 为0的情况，由于 `copy statement` 的存在，说明出现了 `PhiExpression`
- `Expression` 的额外设计
  - 加入了变量表达式，调用表达式，取数组元素表达式，比较表达式，单变量运算表达式
  - 增加虚函数，获取表达式的左右操作数
- 常量折叠的设计
  - 遇到常量时，先判断是否为常量，接着建立 `ConstantExpression`
- 纯函数的设计
  - 使用 `CallExpression` 标记等价类
  - 先判断是否为纯函数
  - 将调用参数传入 `CallExpression`

```
else if (instr->is_call())
{
    auto op = instr->get_operands();
    auto thisfunction = dynamic_cast<Function *>(op[0]);
    if (!func_info_->is_pure_function(thisfunction))
        return VarExpression::create(instr->get_name());
    else
    {
        std::vector<std::shared_ptr<Expression>> args;
        for (auto it : op)
        {
            //寻找参数是否在等价类中存在
            args.push_back(ep);
        }
        return CallExpression::create(thisfunction, args);
    }
}
```

- 具体的代码可以见文件
  - ~~东打一个补丁，西打一个补丁~~
- 优化分析

- 优化前 IR

```
declare i32 @input()

declare void @output(i32)

declare void @outputFloat(float)

declare void @neg_idx_except()

define i32 @main() {
label_entry:
  %op0 = call i32 @input()
  %op1 = call i32 @input()
  %op2 = icmp sgt i32 %op0, %op1
  %op3 = zext i1 %op2 to i32
  %op4 = icmp ne i32 %op3, 0
  br i1 %op4, label %label5, label %label14
label5:                                           ; preds =
%label_entry
  %op6 = add i32 33, 33
  %op7 = add i32 44, 44
  %op8 = add i32 %op6, %op7
  br label %label9
label9:                                           ; preds =
%label5, %label14
  %op10 = phi i32 [ %op8, %label5 ], [ %op17, %label14 ]
  %op11 = phi i32 [ %op7, %label5 ], [ %op16, %label14 ]
  %op12 = phi i32 [ %op6, %label5 ], [ %op15, %label14 ]
  call void @output(i32 %op10)
  %op13 = add i32 %op12, %op11
  call void @output(i32 %op13)
  ret i32 0
label14:                                           ; preds =
%label_entry
  %op15 = add i32 55, 55
  %op16 = add i32 66, 66
  %op17 = add i32 %op15, %op16
  br label %label9
}
```

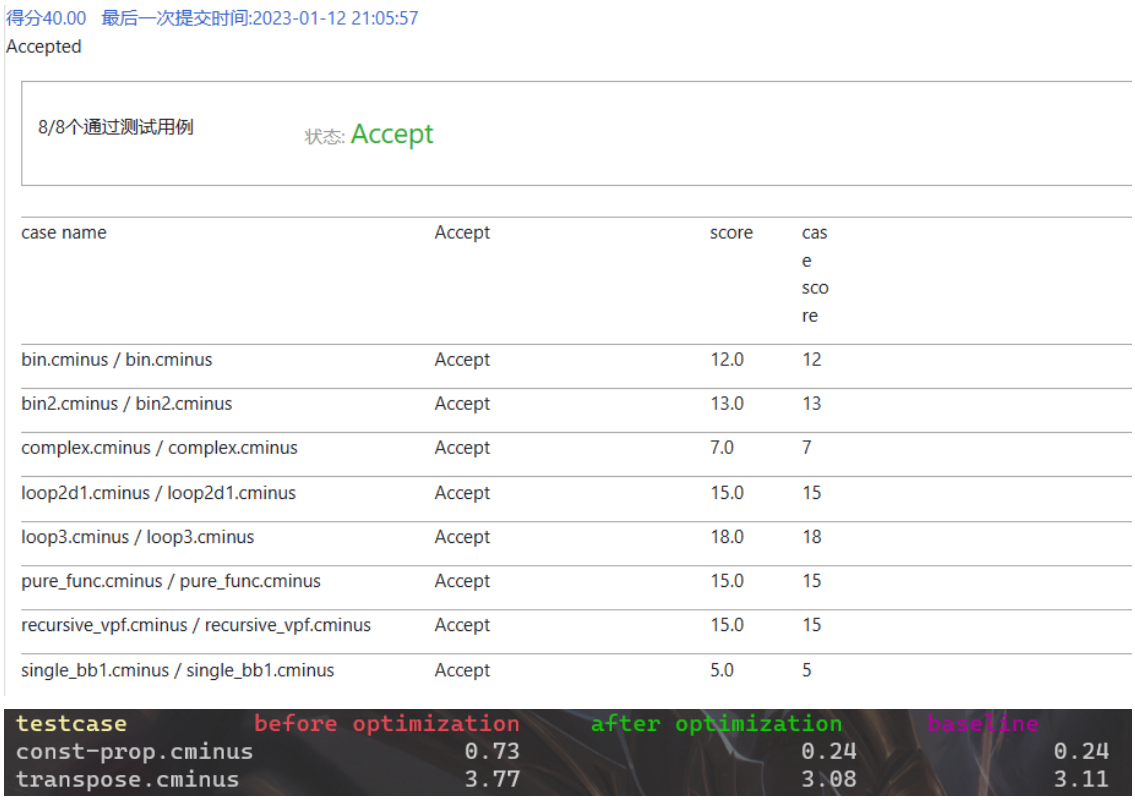
- 优化后 IR

```
declare i32 @input()

declare void @output(i32)

declare void @outputFloat(float)

declare void @neg_idx_except()

define i32 @main() {
label_entry:
  %op0 = call i32 @input()
  %op1 = call i32 @input()
  %op2 = icmp sgt i32 %op0, %op1
```

```
14    %op3 = zext i1 %op2 to i32
15    %op4 = icmp ne i32 %op3, 0
16    br i1 %op4, label %label5, label %label14
17  label5:                                           ; preds =
    %label_entry
18    br label %label9
19  label9:                                           ; preds =
    %label5, %label14
20    %op10 = phi i32 [ 154, %label5 ], [ 242, %label14 ]
21    call void @output(i32 %op10)
22    call void @output(i32 %op10)
23    ret i32 0
24  label14:                                           ; preds =
    %label_entry
25    br label %label9
26  }
```

- 可以看到在上述的优化后，常量相加计算的部分被编译器直接计算，又因为 `%op8` ， `%op13` ， `%op17` 的运算等价，冗余指令被删除，上述的例子可以看到，基本实现了编译优化的功能

- 效果展示




```
testcase          before optimization     after optimization      baseline
const-prop.cminus                0.73                   0.24          0.24
transpose.cminus                 3.77                   3.08          3.11
```

## 思考题

1. 请简要分析你的算法复杂度

   每一遍循环，会遍历每一条指令， 对于每条指令的 `ve` ，会在等价类中查找数次，复杂度和等价类内的数目是同一数量级的， `vpf` 指令最多只会向上搜寻所有的 `block` ，调用 `join` 时，复杂度为两个partition元素个数的乘积，总的循环次数的和等价类数大致相同，最后复杂度大约是 $O(\text{等价类数}^3 \times \text{等价类内元素数} \times \text{调用}join\text{的次数})$

2. `std::shared_ptr` 如果存在环形引用，则无法正确释放内存，你的 Expression 类是否存在 circular reference?

不存在，如果存在环形引用的值表达式，LOG输出调试信息的输出会无法结束，但是没有出现这种情况

3. 尽管本次实验已经写了很多代码，但是在算法上和工程上仍然可以对 GVN 进行改进，请简述你的 GVN 实现可以改进的地方
    - 在处理phi函数寻找等价类的时候，需要遍历等价类，带来了很多不必要的计算，我认为可以第一遍优化先完成冗余指令的删除，常量折叠等等，再第二遍优化处理phi函数
    - 可以改进block访问的顺序，来减少到等价类收敛所需要的循环次数

# 实验总结

- 对 `c++` 能力有极大的提升
- 提升了对 `gvn` 算法，编译优化的理解
- 提升了调试代码的能力

# 实验反馈（可选 不会评分）

- 大概是我太菜了吧，最后一次实验用时和原来所有的加起来差不多
- 感觉实验的主要时间都花在犹豫要不要改整体结构，包括函数传递，返回的参数等等，如果一开始就可以决定根据自己需要改参数，应该会节省很多时间
- 1月5日过正式开始研究，1个小时破防，1月6日过了 `singlebb` ，1月7日，1月8日花两天过了 `bin` ，但此时没有用 `copy statement` ，1月9日花一天时间过了 `loop` 感觉理解 `gvn` 了，1月10日最后一天常量折叠，纯函数，其他指令写起来就非常快，基本没怎么调试，1月11日实验报告。
- 1月9日调 `loop3` 的时候可以看到， `Debugging` 的时间比 `Coding` 的时间长，段错误太可怕了