Lab4_report

PB21111686_赵卓

实验目的

- 掌握$Mem2Reg$的优化思路。
- 了解中间代码优化的原理。
- 提升代码实践能力。

实验步骤

- 步骤零：找到每个函数中，每个*bb*块的控制边界。
  *bb*块的控制边界是指该*bb*块的后续*bb*块中，有多个前置*bb*块的*bb*块。因此对于此类*bb*块，控制流来自不同的*bb*块，因此需要在这些*bb*块的开头插入*phi*指令，实现变量的正确赋值。我们对每个函数遍历所有*bb*块，对于前置*bb*块数量大于1的*bb*块，将其加入每个前置*bb*块的控制边界即可。实现代码如下：

```
//步骤零：找到每个函数中，每个bb块的控制边界。
void Dominators::create_dominance_frontier(Function *f)
{
    for (auto &bb1 : f->get_basic_blocks())
    {
        auto bb = &bb1;
        auto &pre_bb_list = bb->get_pre_basic_blocks();
        if (pre_bb_list.size() > 1)
        {
            for (auto &pre_bb : pre_bb_list)
            {
                if (dom_frontier_.find(pre_bb) == dom_frontier_.end())
                {
                    std::set<BasicBlock *> pre_bb_set;
                    dom_frontier_.insert(std::make_pair(pre_bb, pre_bb_set));
                }
                dom_frontier_[pre_bb].insert(bb);
            }
        }
    }
}
```

- 步骤一：找到活跃在多个*bb*块的全局名字集合，以及它们所属的*bb*块。
  “全局名字”的意思并非是指全局变量，而是在某个函数中出现在多个*bb*块的*alloca*指令。对于这些*alloca*值，在不同*bb*块中取不同的值，需要设置栈存放值，以及可能需要*phi*函数。我我们对每个函数遍历所有的*bb*块，如果是*alloca*指令，则将其加入全局名字集合，并为改名字设置所属*bb*块集合，如果后续*bb*块中出现了该名字，则将该*bb*块加入其所属*bb*块集合。实现代码如下：

```cpp
// 步骤一：找到活跃在多个 bb的全局名字集合，以及它们所属的 bb 块
std::set<Value *> global_live_name;
std::map<Value *, std::set<BasicBlock *>> global_live_name_bb;
for (auto &bb1 : func_->get_basic_blocks())
{
    auto bb = &bb1;
    for (auto &instr1 : bb->get_instructions())
    {
        auto instr = &instr1;
        if (instr->is_store())
        {
            auto store_rval = instr->get_operand(1);
            if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(store_rval) && !IS_GEP_INSTR(store_rval))
            {
                if (global_live_name.find(store_rval) == global_live_name.end())
                {
                    global_live_name.insert(store_rval);
                    std::set<BasicBlock *> store_rval_set = {};
                    global_live_name_bb.insert(std::make_pair(store_rval, store_rval_set));
                }
                if (global_live_name_bb.find(store_rval) != global_live_name_bb.end())
                {
                    if (global_live_name_bb[store_rval].find(bb) == global_live_name_bb[store_rval].end())
                    {
                        global_live_name_bb[store_rval].insert(bb);
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

- 步骤二：通过支配边界信息，在对应位置插入phi指令。
  对于每个函数，遍历活跃在多个bb块的全局名字集合的所属bb块，在其支配边界的开头插入对应全局名字的phi指令。同时注意，插入phi指令后，该支配边界也成为的全局名字所属bb块，因此对其进行同样的操作。实现代码如下：

```
    // 步骤二：通过支配边界信息，在对应位置插入phi指令
    std::map<std::pair<BasicBlock *, Value *>, bool> bb_has_val_phi;
    std::vector<BasicBlock *> work_list;
    for (auto val : global_live_name)
    {
        work_list.assign(global_live_name_bb[val].begin(), global_live_name_bb[val].end());
        int len = work_list.size();
        for (int i = 0; i < len; i++)
        {
            auto bb = work_list[i];
            if (dominators_->get_dominance_frontier(bb).size() != 0)
            {
                for (auto bb_dominance_frontier : dominators_->get_dominance_frontier(bb))
                {
                    if (bb_has_val_phi.find(std::make_pair(bb_dominance_frontier, val)) == bb_has_val_phi.end())
                    {
                        std::vector<Value *> vals;
                        std::vector<BasicBlock *> vals_bbs;
                        auto phi1 = PhiInst::create_phi(val->get_type()->get_pointer_element_type(), bb_dominance_frontier, vals, vals_bbs);
                        auto phi = static_cast<Instruction *>(phi1);
                        bb_dominance_frontier->add_instr_begin(phi);
                        bb_has_val_phi.insert(std::make_pair(std::make_pair(bb_dominance_frontier, val), true));
                        bool if_bb_dominance_frontier = true;
                        for (int j = 0; j < len; j++)
                        {
                            if (work_list[j] == bb_dominance_frontier)
                                if_bb_dominance_frontier = false;
                        }
                        if (if_bb_dominance_frontier)
                        {
                            work_list.push_back(bb_dominance_frontier);
                            len++;
                        }
                        phi_val_map.insert(std::make_pair(phi, val));
                    }
                }
            }
        }
        work_list.clear();
    }
}
```

- 步骤三：判断是否需要回溯。
  由于对*bb*块递归进行重命名，可能出现某*bb*块中全局名字值是来自其他*bb*块，但该*bb*块还没有进行重命名或者其栈值已经被弹出。因此我们记录下每个*bb*块退出重命名时的栈情况，对于当前*bb*块的*load*指令，如果其对应栈为空，那么则遍历前置*bb*块的栈，如果找不到*load*指令对应的值，则需要回溯，先对其他*bb*块进行重命名。实现代码如下：

```
// 步骤三：判断是否需要回溯
for (auto &instr1 : bb->get_instructions())
{
    auto instr = &instr1;
    if (instr->is_load())
    {
        auto load_val = static_cast<LoadInst *>(instr)->get_operand(0);
        if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(load_val) && !IS_GEP_INSTR(load_val))
            if (val_stack[load_val].empty())
                if (value_if_define.find(load_val) == value_if_define.end() && get_indefine(bb, load_val) == nullptr)
                    return;
    }
    if (instr->is_store())
    {
        auto store_rval = static_cast<StoreInst *>(instr)->get_operand(1);
        if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(store_rval) && !IS_GEP_INSTR(store_rval))
            value_if_define.insert(store_rval);
    }
}
```

- 步骤四：用*phi*指令值替换进入栈图中对应的*val*栈。
  将*phi*指令值*push*入对应*val*值的栈即可。实现代码如下：

```
// 步骤四：用phi指令值替换进入栈图中对应的val栈
for (auto &instr1 : bb->get_instructions())
{
    auto instr = &instr1;
    if (instr->is_phi())
    {
        if (phi_val_map.find(instr) != phi_val_map.end())
        {
            auto phi_val = phi_val_map[instr];
            val_stack[phi_val].push_back(instr);
        }
    }
}
```

- 步骤五：将*load*的值替换，若不存在则从前置*bb*块中寻找。
将所有*load*指令值替换成对应栈顶值，如果栈空，那么从前置*bb*块的栈中寻找。实现代码如下：

```
// 步骤五：将load的值替换，若不存在则从前置bb块中寻找
if (instr->is_load())
{
    auto load_val = static_cast<LoadInst *>(instr)->get_operand(0);
    if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(load_val) && !IS_GEP_INSTR(load_val))
    {
        if (val_stack[load_val].empty())
        {
            instr->replace_all_use_with(get_indefine(bb, load_val));
        }
        else
        {
            if (val_stack.find(load_val) != val_stack.end())
                instr->replace_all_use_with(val_stack[load_val].back());
        }
    }
}
```

- 步骤六：将*store*值入栈，同时删除*store*指令。
将*store*指令值*push*入对应*val*值的栈即可，实现代码如下：

```
// 步骤六：将store值入栈，同时删除store指令
if (instr->is_store())
{
    auto store_lval = static_cast<StoreInst *>(instr)->get_operand(0);
    auto store_rval = static_cast<StoreInst *>(instr)->get_operand(1);
    if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(store_rval) && !IS_GEP_INSTR(store_rval))
    {
        if (val_stack.find(store_rval) == val_stack.end())
        {
            std::vector<Value *> store_rval_value;
            val_stack.insert(std::make_pair(store_rval, store_rval_value));
        }
        val_stack[store_rval].push_back(store_lval);
        wait_delete.push_back(instr);
    }
}
```

- 步骤七：补全后续*bb*块的*phi*指令。
  对当前*bb*块重命名结束之后，再遍历后续*bb*块，如果存在*phi*指令，说明后续*bb*块对应*phi*指令值的一个来源是当前*bb*块，在步骤二中已经设定。因此将对应*phi*指令值的栈顶值插入*phi*指令即可。
  实现代码如下：

```
// 步骤七：补全后续bb的phi指令
for (auto succ_bb : bb->get_succ_basic_blocks())
{
    for (auto &instr1 : succ_bb->get_instructions())
    {
        auto instr = &instr1;
        if (instr->is_phi())
        {
            auto phi_instr = static_cast<PhiInst *>(instr);
            if (phi_val_map.find(instr) != phi_val_map.end())
            {
                auto phi_val = phi_val_map[instr];
                if (val_stack.find(phi_val) != val_stack.end() && !val_stack[phi_val].empty())
                    phi_instr->add_phi_pair_operand(val_stack[phi_val].back(), bb);
            }
        }
    }
}
```

- 步骤八：对后续*bb*块递归进行重命名。
  每次重命名完*bb*块后，记录其命名情况，已经命名或者没有命名。对于后续没有命名的*bb*块依次进重命名。实现代码如下：

```
// 步骤八：对后续bb块递归进行重命名。
bb_if_rename.insert(std::make_pair(bb, true));

val_stack_record.insert(std::make_pair(bb, val_stack));

for (auto succ_bbs : bb->get_succ_basic_blocks())
{
    if (bb_if_rename.find(succ_bbs) == bb_if_rename.end())
        rename(succ_bbs);
}
```

- 步骤九：结束当前*bb*块重命名，弹出栈值。
  结束当前*bb*块重命名后，由于要回到控制流到达该*bb*块之前的情况，因此遍历*bb*块的指令，将其对所有*val*指的栈的修改还原，弹出*push*入的栈值。实现代码如下：

```
// 步骤九：结束当前bb块重命名，弹出栈值。
for (auto &instr1 : bb->get_instructions())
{
    auto instr = &instr1;
    if (instr->is_store())
    {
        auto store_rval = static_cast<StoreInst *>(instr)->get_operand(1);
        if (!IS_GLOBAL_VARIABLE(store_rval) && !IS_GEP_INSTR(store_rval))
        {
            if (val_stack.find(store_rval) != val_stack.end() && !val_stack[store_rval].empty())
                val_stack[store_rval].pop_back();
        }
    }
    else if (instr->is_phi())
    {
        if (phi_val_map.find(instr) != phi_val_map.end())
        {
            auto phi_val = phi_val_map[instr];
            if (val_stack.find(phi_val) != val_stack.end() && !val_stack[phi_val].empty())
                val_stack[phi_val].pop_back();
        }
    }
}
```

- 步骤十：删除*store*指令
  删除当前*bb*块的*store*指令，*Deadcode*会将对应的*load*和*alloca*死代码删除。实现代码如下：

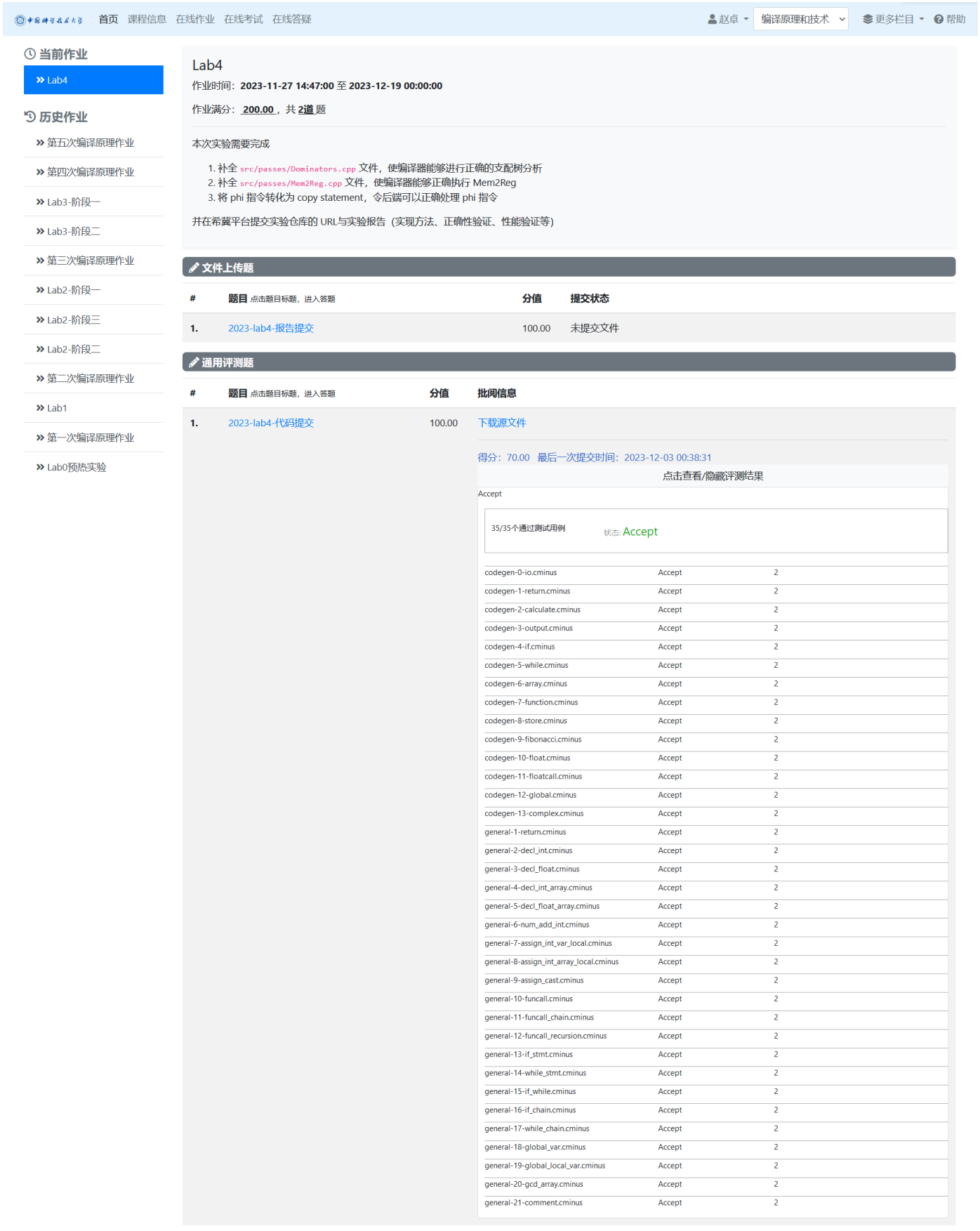
```
// 步骤十：删除store指令
for (auto &instr : wait_delete)
{
    bb->erase_instr(instr);
}
```

- 步骤十一：补全对*phi*指令的后端翻译
  后端应该可以将*phi*指令翻译成对应汇编语言。若在遍历到*phi*指令时直接翻译，困难较大，因为寻找前置*bb*块难度较大，而且此时对应*val*值也可能改变。因此我们变换思路，在个*bb*块翻译结束后，对后继*bb*块遍历，如果存在*phi*指令，那么说明后续*bb*块的*phi*指令值来自当前*bb*块，因此将后续*bb*块所需*val*值赋给其*phi*指令值。实现代码如下：

```cpp
//步骤十一：补全对phi指令的后端翻译
void CodeGen::gen_phi()
{
    auto bb = context.inst->get_parent();
    auto &bb_succ_list = bb->get_succ_basic_blocks();
    for (auto bb_next : bb_succ_list)
    {
        for (auto &instr1 : bb_next->get_instructions())
        {
            auto instr = &instr1;
            if (instr->is_phi())
            {
                int num = instr->get_num_operand();
                for (int i = 0; i + 1 < num; i = i + 2)
                {
                    if (instr->get_operand(i + 1) == bb)
                    {
                        if (instr->get_operand(i)->get_type()->is_float_type())
                        {
                            load_to_freg(instr->get_operand(i), FReg::ft(0));
                            store_from_freg(instr, FReg::ft(0));
                        }
                        else
                        {
                            load_to_greg(instr->get_operand(i), Reg::t(0));
                            store_from_greg(instr, Reg::t(0));
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

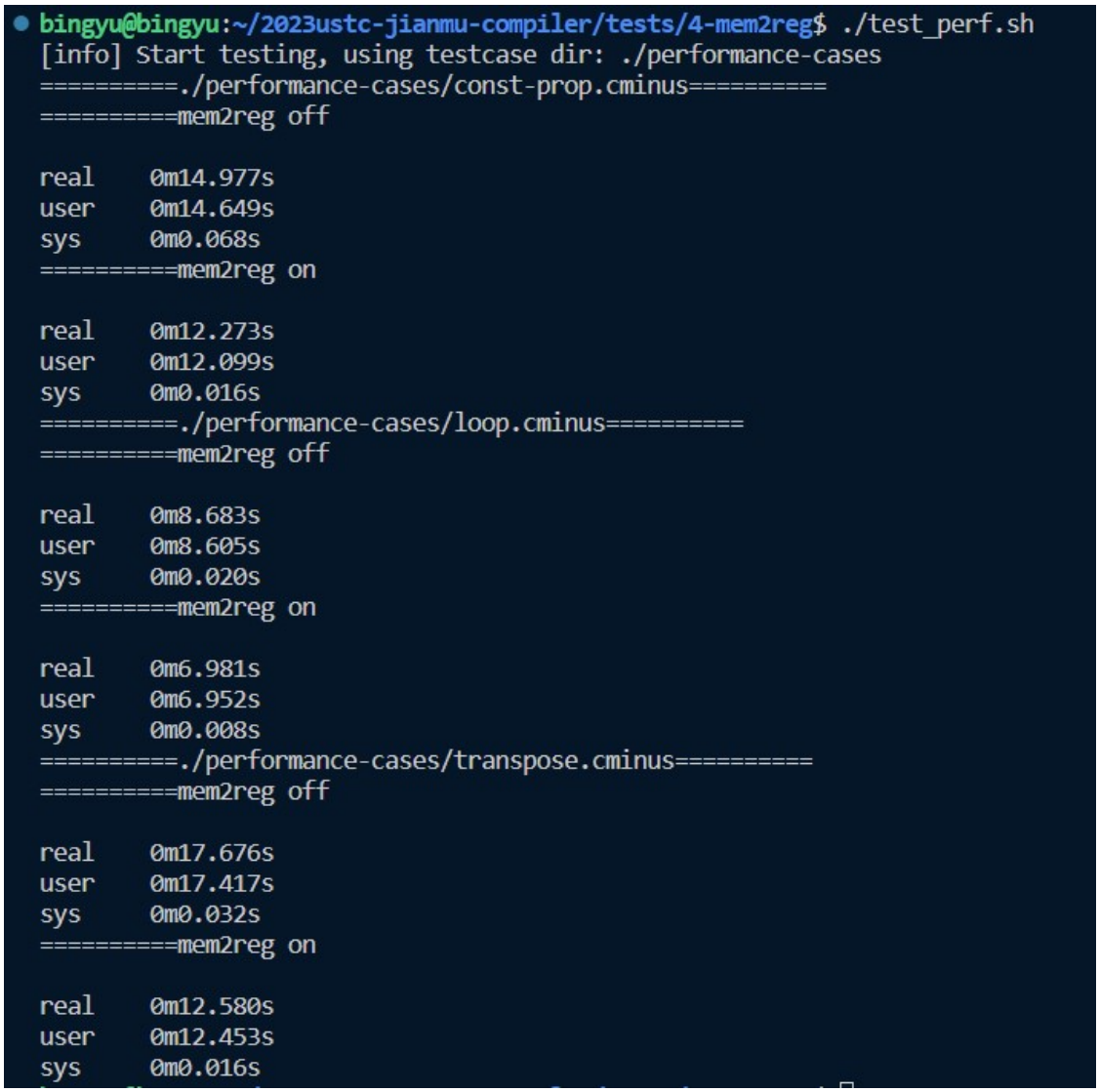
正确性验证

- 测试结果如下：



性能优化验证

- 优化结果如下：



可见$Mem2Reg$会进行有效的优化。

实验总结

- 本次实验在前置实验的基础上，进行来中间代码的优化，并采用$Mem2Reg$方法。由优化结果可以看出，$Mem2Reg$方法进行了较为有效的优化，但优化程度存在提升空间，思考如何进行进一步的优化是有意义的。