编译原理研讨课实验PR002实验报告

任务说明

任务要求

> 1. 扩展AST的表示已支持element-wise的操作
> 2. 操作匹配：类型匹配（静态数组，类型相同），大小匹配（大小相等）
> 3. 生成合法的AST
> 4. 不破坏原有C语言代码的语义

任务实现

通过修改`llvm-3-3/tool/clang/lib/Sema/SemaExpr.cpp`中的部分函数，完成对操作数的检查和匹配，并限定仅支持C语言标准的int类型的array.

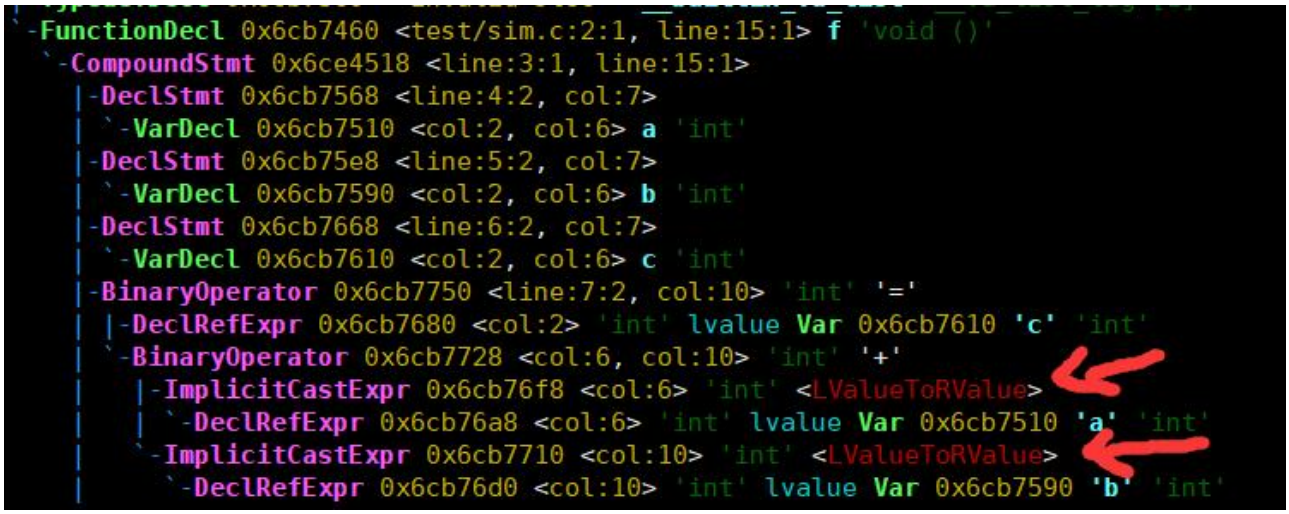
成员组成

```
段江飞，蔡昕，资威
```

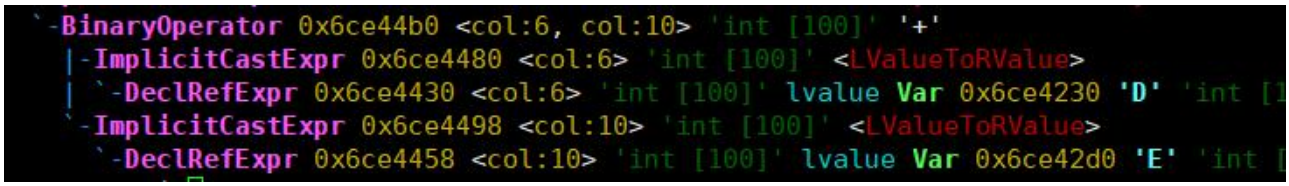
实验设计

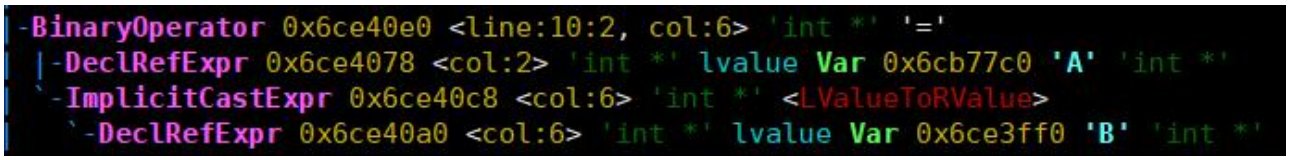
设计思路

- 编译器生成token流、进行语法分析之后，进行语义分析阶段。语义分析阶段，会调用`Sema::ActOnBinOp`函数对二元操作符进行分析，而`Sema::ActOnBinOp`函数会调用`Sema::BuildBinOp`函数进行二元操作符的创建，在`Sema::BuildBinOp`函数中，对于固定(bulit-in)的非重载的操作类型,需要调用`Sema::CreateBuiltinBinOp`函数来创建二元操作符。为了支持`elementWise`操作，我们需要在二元操作符是'='、'+'、'*' 且函数有`elementWise`标记的时候进行操作数的检查和匹配，所以本实验需要修改函数`Sema::CheckForModifiableLvalue`，`Sema::CheckAssignmentOperands`，`Sema::CheckAdditionOperands`，`Sema:CheckMultiplyDivideOperands`以达到实验目的。
- 语法树的构造
  通过正常的两个int类型的加法可以看到，'+'的两个操作数都会有左值转化为右值的过程，所以对数组的elementWise的操作的设计可以类似这种操作。



在合法性检查之后，对数组进行左值到右值的转化，然后利用clang已有的代码构造相应的AST树。





- '='操作

    1. 检查左操作数是否assignable，在`Sema::CheckForModifiableLvalue`中修改使得带有elementWise标记的函数里的数组为assignable
    2. `Sema::CheckAssignmentOperands`中，检查函数是否有elementWise标记和右操作数是否是静态数组类型(左操作数在assignable的修改中已经检查)
    3. 检查数组的大小和元素类型是否匹配以及是否是int类型的数组
    4. '='的左操作数需要是lvalue，进行lvalue的检查，然后对右操作数根据需要进行lvalue到rvalue的转化

- '+'和'*'操作

    1. 检查函数是否有elementWise标记和左、右操作数是否是静态数组类型
    2. 检查数组的大小和元素类型是否匹配以及是否是int类型的数组
    3. 对左右操作数进行检查，将非rvalue操作数做lvalue到rvalue的转化

具体实现

`Sema::CheckForModifiableLvalue` 的添加部分

```
    if(IsLV == Expr::MLV_ArrayType && S.IsElementWise &&
      ConstantArrayType::classof(E->getType().getTypePtr()))
      return false;
```

`Sema::CheckAssignmentOperands` 的添加部分：

```
  //handle the case: unqualified array '='
  //check if this function support elementwise and RHS'type is ConstantArray
  if(this->IsElementWise && RHSType.getTypePtr()->isConstantArrayType())
  {
    const ConstantArrayType *lhs = dyn_cast<ConstantArrayType>
(LHSType.getTypePtr());
    const ConstantArrayType *rhs = dyn_cast<ConstantArrayType>
(RHSType.getTypePtr());
    QualType lhs_dt = lhs->getElementType().getUnqualifiedType();
    QualType rhs_dt = rhs->getElementType().getUnqualifiedType();
    //check whether LHS and RHS have same size and type and make sure type of
array is int
    if(lhs->getSize() == rhs->getSize() && lhs_dt == rhs_dt &&
        lhs_dt.getTypePtr()->isIntegerType())
    {
    // check whether LHSexpr is lvalue
      if(LHSExpr->isLValue())
      {
    //if RHSexpr is not of rvalue kind ,transfer RHSCheck to rvalue kind for
assignment and building AST

        if(!(RHSCheck->isRValue()))
        {
          Qualifiers tmp;
          ImplicitCastExpr *rhs_r2l = ImplicitCastExpr::Create(Context,
            Context.getUnqualifiedArrayType(RHSType.getUnqualifiedType(), tmp),
            CK_LValueToRValue, RHSCheck, 0, VK_RValue);
          RHS = rhs_r2l;
        }
      }

      return LHSType;
    }
  }
```

Sema::CheckAdditionOperands的添加部分：

```
  //handle the case: unqualified array '+'
  //check whether this function support elementwise and LHS's and RHS'type is
ConstantArray
  if(this->IsElementWise && LHS.get()->getType().getTypePtr()-
>isConstantArrayType() &&
    RHS.get()->getType().getTypePtr()->isConstantArrayType())
  {
    const ConstantArrayType *lhs = dyn_cast<ConstantArrayType>(LHS.get()-
>getType().getTypePtr());
    const ConstantArrayType *rhs = dyn_cast<ConstantArrayType>(RHS.get()-
>getType().getTypePtr());
    QualType lhs_dt = lhs->getElementType().getUnqualifiedType();
    QualType rhs_dt = rhs->getElementType().getUnqualifiedType();
```

```
    //check whether LHS and RHS have same size and type and make sure type of
array is int
    if(lhs->getSize() == rhs->getSize() && lhs_dt == rhs_dt &&
      lhs_dt.getTypePtr()->isIntegerType())
    {
    //if LHS or RHS is not of rvalue kind ,transfer it to rvalue kind for further
addition compution
      if(!(LHS.get()->isRValue()))
      {
        Qualifiers tmp;
        ImplicitCastExpr *lhs_r2l = ImplicitCastExpr::Create(Context,
          Context.getUnqualifiedArrayType(LHS.get()-
>getType().getUnqualifiedType(), tmp),
          CK_LValueToRValue, LHS.get(), 0, VK_RValue);
        LHS = lhs_r2l;
      }
      if(!(RHS.get()->isRValue()))
      {
        Qualifiers tmp;
        ImplicitCastExpr *rhs_r2l = ImplicitCastExpr::Create(Context,
          Context.getUnqualifiedArrayType(RHS.get()-
>getType().getUnqualifiedType(), tmp),
          CK_LValueToRValue, RHS.get(), 0, VK_RValue);
        RHS = rhs_r2l;
      }
      return LHS.get()->getType();
    }
  }
```

Sema:CheckMultiplyDivideOperands的添加部分：

```
  //handle the case: unqualified array '*'
  //check whether this function support elementwise and LHS's and RHS'type is
ConstantArray (only for multiply)
  if(!IsDiv && !IsCompAssign && this->IsElementWise &&
    LHS.get()->getType().getTypePtr()->isConstantArrayType() &&
    RHS.get()->getType().getTypePtr()->isConstantArrayType() )
  {
    const ConstantArrayType *lhs = dyn_cast<ConstantArrayType>(LHS.get()-
>getType().getTypePtr());
    const ConstantArrayType *rhs = dyn_cast<ConstantArrayType>(RHS.get()-
>getType().getTypePtr());
    QualType lhs_dt = lhs->getElementType().getUnqualifiedType();
    QualType rhs_dt = rhs->getElementType().getUnqualifiedType();
  //check whether LHS and RHS have same size and type and make sure the type of
array is int
    if(lhs->getSize() == rhs->getSize() && lhs_dt == rhs_dt &&
      lhs_dt.getTypePtr()->isIntegerType())
    {
      //if LHS or RHS is not of rvalue kind ,transfer it to rvalue kind for
further compution
      if(!(LHS.get()->isRValue()))
```

```
      {
        Qualifiers tmp;
        ImplicitCastExpr *lhs_r2l = ImplicitCastExpr::Create(Context,
          Context.getUnqualifiedArrayType(LHS.get()-
>getType().getUnqualifiedType(), tmp),
          CK_LValueToRValue, LHS.get(), 0, VK_RValue);
        LHS = lhs_r2l;
      }
      if(!(RHS.get()->isRValue()))
      {
        Qualifiers tmp;
        ImplicitCastExpr *rhs_r2l = ImplicitCastExpr::Create(Context,
          Context.getUnqualifiedArrayType(RHS.get()-
>getType().getUnqualifiedType(), tmp),
          CK_LValueToRValue, RHS.get(), 0, VK_RValue);
        RHS = rhs_r2l;
      }
      return LHS.get()->getType();
    }
  }
```

测试过程

使用了两个测试文件进行测试，首先是老师任务书给出的测试文件sim-full.c

```
#pragma elementWise
void foo1(){
        int A[1000];
        int B[1000];
        int C[1000];
        int *D;
        int E[10][100];
        C = A + B;
        C = A * B;
        C = A;

        C = D;

        (A + B) = C;

        C = A + D;
        C = D + A;
        C = D + D;

        E = A;
        E = A + B;
        E = A * B;
}

void foo2(){
        int A[1000];
```

```
        int B[1000];
        int C[1000];
        C = A + B;
        C = A * B;
        C = A;
}

#pragma elementWise
void foo3(){
        int A[1000];
        int B[1000];
        const int C[1000];
        C = A;
        C = A + B;
}

#pragma elementWise
void foo4(){
        int A[1000];
        const int B[1000];
        int C[1000];
        C = B;
        C = A + B;
}

#pragma elementWise
void foo5(){
        int A[1000];
        int B[1000];
        int C[1000];
        int D[1000];
        D = A + B + C;
        D = A * B + C;
        D = (D = A + B);
        D = (A + B) * C;
        D = (A + B) * (C + D);
}
```

其测试结果和老师任务书上显示的是一致的，为了方便起见我就只把最后foo5的AST贴出来：

```
|-BinaryOperator 0x58c7250 <line:58:2, col:14> 'int [1000]' '='
| |-DeclRefExpr 0x58c70e0 <col:2> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
| `-ImplicitCastExpr 0x58c7218 <col:6, col:14> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
|   `-BinaryOperator 0x58c71f0 <col:6, col:14> 'int [1000]' '+'
|     |-BinaryOperator 0x58c7188 <col:6, col:10> 'int [1000]' '+'
|     | |-ImplicitCastExpr 0x58c7158 <col:6> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     | | `-DeclRefExpr 0x58c7108 <col:6> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6e60 'A' 'int [1000]'
|     | `-ImplicitCastExpr 0x58c7170 <col:10> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     |   `-DeclRefExpr 0x58c7130 <col:10> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6f10 'B' 'int [1000]'
|     `-ImplicitCastExpr 0x58c71d8 <col:14> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|       `-DeclRefExpr 0x58c71b0 <col:14> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6fc0 'C' 'int [1000]'
|-BinaryOperator 0x58c73c8 <line:59:2, col:14> 'int [1000]' '='
| |-DeclRefExpr 0x58c7278 <col:2> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
| `-ImplicitCastExpr 0x58c73b0 <col:6, col:14> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
|   `-BinaryOperator 0x58c7388 <col:6, col:14> 'int [1000]' '+'
|     |-BinaryOperator 0x58c7320 <col:6, col:10> 'int [1000]' '*'
|     | |-ImplicitCastExpr 0x58c72f0 <col:6> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     | | `-DeclRefExpr 0x58c72a0 <col:6> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6e60 'A' 'int [1000]'
|     | `-ImplicitCastExpr 0x58c7308 <col:10> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     |   `-DeclRefExpr 0x58c72c8 <col:10> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6f10 'B' 'int [1000]'
|     `-ImplicitCastExpr 0x58c7370 <col:14> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|       `-DeclRefExpr 0x58c7348 <col:14> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6fc0 'C' 'int [1000]'
|-BinaryOperator 0x58c7560 <line:60:2, col:16> 'int [1000]' '='
| |-DeclRefExpr 0x58c73f0 <col:2> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
| `-ImplicitCastExpr 0x58c7548 <col:6, col:16> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
|   `-ParenExpr 0x58c7528 <col:6, col:16> 'int [1000]'
|     `-BinaryOperator 0x58c7500 <col:7, col:15> 'int [1000]' '='
|       |-DeclRefExpr 0x58c7418 <col:7> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
|       `-ImplicitCastExpr 0x58c74e8 <col:11, col:15> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
|         `-BinaryOperator 0x58c74c0 <col:11, col:15> 'int [1000]' '+'
|           |-ImplicitCastExpr 0x58c7490 <col:11> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|           | `-DeclRefExpr 0x58c7440 <col:11> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6e60 'A' 'int [1000]'
|           `-ImplicitCastExpr 0x58c74a8 <col:15> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|             `-DeclRefExpr 0x58c7468 <col:15> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6f10 'B' 'int [1000]'
```

上图的式子可以看出来依次是D = A + B + C; D = A * B + C; D = (D = A + B);

```
|-BinaryOperator 0x58c76f8 <line:61:2, col:16> 'int [1000]' '='
| |-DeclRefExpr 0x58c7588 <col:2> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
| `-ImplicitCastExpr 0x58c76e0 <col:6, col:16> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
|   `-BinaryOperator 0x58c76b8 <col:6, col:16> 'int [1000]' '*'
|     |-ParenExpr 0x58c7658 <col:6, col:12> 'int [1000]'
|     | `-BinaryOperator 0x58c7630 <col:7, col:11> 'int [1000]' '+'
|     |   |-ImplicitCastExpr 0x58c7600 <col:7> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     |   | `-DeclRefExpr 0x58c75b0 <col:7> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6e60 'A' 'int [1000]'
|     |   `-ImplicitCastExpr 0x58c7618 <col:11> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|     |     `-DeclRefExpr 0x58c75d8 <col:11> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6f10 'B' 'int [1000]'
|     `-ImplicitCastExpr 0x58c76a0 <col:16> 'int [1000]' <LValueToRValue>
|       `-DeclRefExpr 0x58c7678 <col:16> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6fc0 'C' 'int [1000]'
`-BinaryOperator 0x58c7918 <line:62:2, col:22> 'int [1000]' '='
  |-DeclRefExpr 0x58c7720 <col:2> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
  `-ImplicitCastExpr 0x58c7900 <col:6, col:22> 'int *' <ArrayToPointerDecay>
    `-BinaryOperator 0x58c78d8 <col:6, col:22> 'int [1000]' '*'
      |-ParenExpr 0x58c77f0 <col:6, col:12> 'int [1000]'
      | `-BinaryOperator 0x58c77c8 <col:7, col:11> 'int [1000]' '+'
      |   |-ImplicitCastExpr 0x58c7798 <col:7> 'int [1000]' <LValueToRValue>
      |   | `-DeclRefExpr 0x58c7748 <col:7> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6e60 'A' 'int [1000]'
      |   `-ImplicitCastExpr 0x58c77b0 <col:11> 'int [1000]' <LValueToRValue>
      |     `-DeclRefExpr 0x58c7770 <col:11> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6f10 'B' 'int [1000]'
      `-ParenExpr 0x58c78b8 <col:16, col:22> 'int [1000]'
        `-BinaryOperator 0x58c7890 <col:17, col:21> 'int [1000]' '+'
          |-ImplicitCastExpr 0x58c7860 <col:17> 'int [1000]' <LValueToRValue>
          | `-DeclRefExpr 0x58c7810 <col:17> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c6fc0 'C' 'int [1000]'
          `-ImplicitCastExpr 0x58c7878 <col:21> 'int [1000]' <LValueToRValue>
            `-DeclRefExpr 0x58c7838 <col:21> 'int [1000]' lvalue Var 0x58c7070 'D' 'int [1000]'
```

上图的式子可以看出来依次是D = (A + B) * C; D = (A + B) * (C + D);

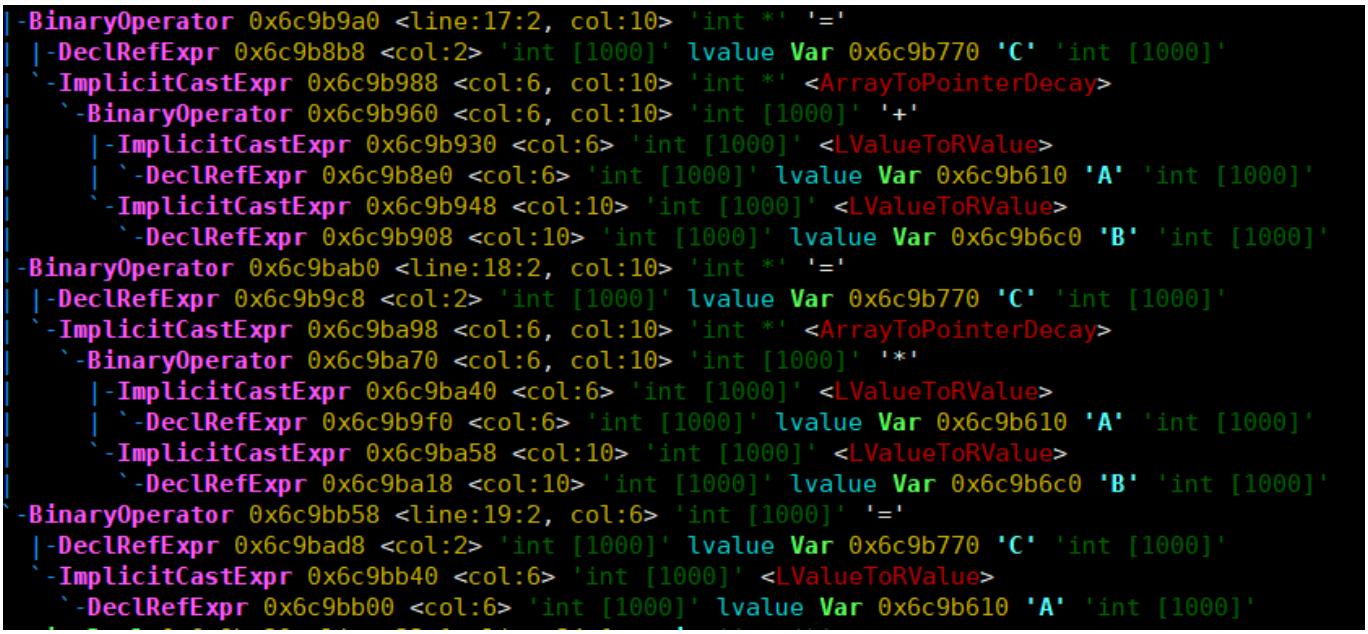
然后老师课上说过要只支持int，然后还不能支持除法，我们用下面的程序测试了：

```
#pragma elementWise
void foo1(){
        float A[1000];
        float B[1000];
        float C[1000];
        C = A + B;
        C = A * B;
        C = A;
}

#pragma elementWise
void foo2(){
        int A[1000];
        int B[1000];
        int C[1000];
        C = A / B;
        C = A + B;
        C = A * B;
        C = A;
}

int main(){
        return 0;
}
```

测试结果是：

```
[clang7@host2 ~]$ sh AST.sh test/sim-plus.c
test/sim-plus.c:6:8: error: invalid operands to binary expression ('float *' and 'float *')
        C = A + B;
            ~ ^ ~
test/sim-plus.c:7:8: error: invalid operands to binary expression ('float *' and 'float *')
        C = A * B;
            ~ ^ ~
test/sim-plus.c:8:4: error: assigning to 'float [1000]' from incompatible type 'float [1000]'
        C = A;
          ^ ~
test/sim-plus.c:16:8: error: invalid operands to binary expression ('int *' and 'int *')
        C = A / B;
            ~ ^ ~
TranslationUnitDecl 0x6c6db30 <<invalid sloc>>
```

可以看到使用float类型的和使用除法的都报错了。



可以看到使用加法、乘法、赋值操作的正确生成了AST树。

总结

实验结果总结

> 经过测试，实验结果能够满足任务书中支持C语言标准的int类型的elementWize操作，检查操作匹配以及生成合法的AST的要求，并且不会破坏原有C语言代码的语义。

分成员总结

> 段江飞：'+'、'='、'*'代码实现
> 资　威：'*'代码实现，测试
> 蔡　昕：代码注释及实验报告编写