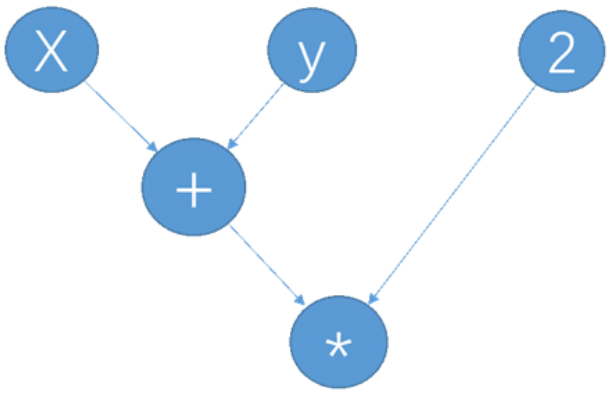
大作业——计算图

一.什么是计算图

计算图是近年来深度学习必需的计算工具，著名的项目有TensorFlow、Theano、PyTorch等。本项目要求大家实现静态计算图，它的本质即是用图来表示数据的处理过程。用计算图的好处在于：它可以保存数据的依赖关系和结构，在重复同样的计算时，有机会去优化和并行；并且也可以实现参数的自动求导。

举一个简单的例子，我们定义x,y为placeholder（占位符，即计算图的输入），还有一个常量2。那么通过以下方式我们可以定义一个计算图：$\mathrm{ans} = (\mathrm{x} + \mathrm{y}) \cdot 2$



接下来，我们可以对 x, y 输入不同的值进行反复计算。

$\mathrm{ans.eval}(\mathrm{x} = 1, \mathrm{y} = 2) \to 6$

$\mathrm{ans.eval}(\mathrm{x} = 1, \mathrm{y} = -1) \to 0$

因此，即使我们不知道 x, y 的具体数值，我们也可以定义我们所需的计算图。定义完成之后，我们可以通过输入 x, y 得到计算图中其他节点的数值。这就是计算图的使用方式。

二.第一阶段需求

你需要实现一个C++的库，支持计算图的构建与计算。**为了便于测试结果的比较，所有的计算结果保留 4 位小数**：

1. 实现float标量的Placeholder和Constant，并重载加减乘除四则运算**（占10%）**
    - 输入样例：

      第一行是变量数 n，接下来 n 行是对变量的具体描述，每一行由变量名和变量属性组成。属性有两种：P 表示该变量是 Placeholder；C 表示该变量是 Constant，接下来的数字即为该变量的数值。

      然后是节点数 m，接下来 m 行每一行定义一个新节点，每行包含一个等号，等号左边是节点名称，等号右边是得到新节点的计算过程。这些节点共同构成了一张计算图，通过输入不同的 x, y，可以反复计算图中的其他节点 a, b, c, res。

      然后是计算操作数 q，接下来 q 行每一行是一个计算操作。每一行第一个元素是待计算结果的节点名称，第二个元素 k 表示接下来有 k 个类型为 Placeholder 的变量需要赋值，然后是 k 个赋值对，每个赋值对包括一个待赋值的 Placeholder 类型的变量和赋值的数值，每一行的计算操作根据给出的赋值输出一个计算结果。

      输入输出只是为了检测你的程序是否正确，你并**不需要为输入输出语句设计对象。**

```
3
x P
y P
z C 3.0
4
a = x + y
b = a - z
c = b * a
res = z / c
5
EVAL x 1 x 1.0
EVAL a 2 x 1.0 y 2.0
EVAL b 2 x 1.0 y 0.0
EVAL c 1 y 1.0
EVAL res 2 x -1.0 y 1.0
```

- 输出样例：

  依次输出 q 个操作的计算结果。若待计算的节点依赖的节点未赋值，或除法操作除数为0，则输出相应错误信息。

```
1.0000
3.0000
-2.0000
ERROR: Placeholder missing
ERROR: Division by zero
```

  说明：

  - 输入 $x = 1.0$，计算 $x = x = 1.0$
  - 输入 $x = 1.0, y = 2.0$，计算 $a = x + y = 3.0$
  - 输入 $x = 1.0, y = 0.0$，计算 $b = x + y - z = 1.0 + 0.0 - 3.0 = -2.0$
  - 输入 $y = 1.0$，计算 $c = (x + y - z)(x + y)$，c 的计算依赖于 x，但未输入 x，则输出错误信息
  - 输入 $x = -1.0, y = 1.0$，计算 $res = \frac{z}{(x+y-z)(x+y)}$，但 $x + y = 0$， 则输出 ERROR。对于除法，在定义计算图时由于不知道除数是否为0，因此不会报错，但是在计算节点具体数值的过程中如果遇到除数为 0，则需要报错

2. 实现float标量的sin（正弦运算）、log（对数运算）、exp（指数运算）、tanh（双曲正切运算）、sigmoid运算。在log函数的计算过程中，如果参数不在定义域内则给出错误警告。 **（占3%）**

   - 输入样例：

     增加 SIN、LOG、EXP、TANH、SIGMOID五个单目运算符，其中 $\tanh(\mathrm{x}) = \frac{\mathrm{e}^{\mathrm{x}}-\mathrm{e}^{-\mathrm{x}}}{\mathrm{e}^{\mathrm{x}}+\mathrm{e}^{-\mathrm{x}}}$ ，$\mathrm{sigmoid}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$， LOG 操作底数为自然指数 e

```
3
x P
y P
z C 3.0
7
a = SIN z
b = LOG y
```

```
c = EXP x
d = SIGMOID c
e = TANH d
t = a + b
res = t * e
4
EVAL res 2 x 1.0 y 2.0
EVAL res 2 x 1.0 y -1.0
EVAL c 2 x 1.0 y 2.0
EVAL d 2 x 1.0 y 1.0
```

- 输出样例：

```
0.6126
Error: LOG operator's input must be positive
2.7183
0.9381
```

说明：

输入 $\mathrm{x}=1,\mathrm{y}=2$

$\mathrm{a}=\sin(\mathrm{z})=0.1411$

$\mathrm{b}=\log(\mathrm{y})=0.6931$

$\mathrm{c}=\exp(\mathrm{x})=2.7183$

$\mathrm{d}=\frac{1}{1+\mathrm{e}^{-\mathrm{c}}}=0.9381$

$\mathrm{e}=\frac{\mathrm{e}^{\mathrm{d}}-\mathrm{e}^{-\mathrm{d}}}{\mathrm{e}^{\mathrm{d}}+\mathrm{e}^{-\mathrm{d}}}=0.7343$

$\mathrm{t}=\mathrm{a}+\mathrm{b}=0.8343$

$\mathrm{res}=\mathrm{t}*\mathrm{e}=0.6126$

3. 实现用于调试的Print运算。当计算图构建完成后，eval的过程对用户是不可见的，这时候调试往往会产生困难。你需要实现Print运算符，这个运算符输入为1个变量，输出仍为这个变量本身，但是能够打印出这个变量的值。**（占3%）**
   - 输入样例

     在定义节点时增加单目运算符 Print，其他输入说明不变

```
3
x P
y P
z C 3.0
5
a = x + y
b = PRINT a
c = b * z
d = PRINT c
res = b * d
5
EVAL x 1 x 1.0
EVAL a 2 x 1.0 y 2.0
```

```
EVAL b 2 x 1.0 y 0.0
EVAL c 1 x 2.0 y 1.0
EVAL res 2 x -1.0 y 1.0
```

- 输出样例

  依次输出 q 个操作的计算结果：

```
1.0000
3.0000
Print Operator: a=1.0
1.0000
Print Operator: a=3.0
9.0000
Print Operator: a=0.0
Print Operator: c=0.0
0.0000
```

4. 为了保持计算图的高效性，即使一个结点被多次引用，也只应该计算一次。这点在使用了Print的情况下会更加明显**（占3%）**
   - 输入样例

```
2
x P
z 3.0
4
t = Print x
a = t + z
b = t + a
c = t + b
1
EVAL c 1 x 1.0
```

   - 输出样例

     依次输出 q 个操作的计算结果：

```
Print Operator: c=1.0
6.0000
```

5. 实现变量Variable。当计算图较大，输入过多时，eval的参数会变得很多。但我们经常希望能够保持一些输入变量的值。使用SET指令可以修改Variable的值**（占5%）**
   - 输入样例

     在输入变量时，增加变量类型 V，表示该变量是 Variable 类型，接下来的数字表示该变量的初始数值。

     在输入计算操作时增加2个操作：

     - SETCONSTANT v n：将变量 v 的值更改为 n；
     - SETANSWER v i：将变量 v 的值更改为第i个操作的输出，保证第i个操作在该操作之前，且一定有输出；

     这些操作没有输出。

```
2
x P
y V 1.0
1
res = x + y
5
EVAL res 1 x 1.0
SETCONSTANT y 2.0
EVAL res 1 x 2.0
SETANSWER y 3
EVAL res 1 x 1.0
```

- 输出样例

  依次输出 q 个操作的计算结果：

```
2.0000
4.0000
5.0000
```

- 样例解释 SETANSWER y 3 将第3个操作的输出4.0000赋给了x

6. 实现float标量的 >、<、>=、<=、== 等比较运算，该运算输入两个变量，判断两个变量之间的关系。若满足条件，则输出为浮点数 1.0，否则输出为浮点数 0.0。 **（占3%）**

- 输入样例：

```
3
x P
y P
z C 3.0
7
a = x < y
b = a <= y
c = b > a
d = c >= b
e = d == c
t = a + e
res = t * z
1
EVAL res 2 x 1.0 y 2.0
```

- 输出样例：

```
6.0000
```

  说明：

  输入 $x = 1, y = 2$

  $a = (x < y) = 1$

  $b = (a \leqslant y) = 1$

$c = (b > a) = 0$

$d = (c \geqslant b) = 0$

$e = (d == c) = 1$

$t = a + e = 2$

$res = t * z = 6$

7. 在计算图中增加条件判断命令 COND，接受三个参数，第一个参数是一个比较运算式，第二个参数是如果比较运算式为真时的输出，第三个参数是如果比较运算式为假时的输出。 **（占3%）**
   - 输入样例：

     由于本次大作业不要求实现布尔类型的变量，因此 COND 的第一个参数可以是任意浮点数，当它大于 0 时返回第二个参数，当它小于等于 0 时假设返回第三个参数：

     ```
     3
     x P
     y P
     z C 3.0
     5
     a = x + y
     b = a - z
     c = x > y
     t = COND c a b
     res = COND b a c
     2
     EVAL t 2 x 1.0 y -1.0
     EVAL res 2 x 1.0 y -1.0
     ```

   - 输出样例：

     ```
     0.0000
     1.0000
     ```

     输入 $\mathrm{x} = 1.0, \mathrm{y} = -1.0$,

     $\mathrm{a} = \mathrm{x} + \mathrm{y} = 0.0$

     $\mathrm{b} = \mathrm{a} - \mathrm{z} = -3.0$

     $\mathrm{c} = \mathrm{x} > \mathrm{y} = 1.0$

     则 $\mathrm{t} = \mathrm{a} = 0.0, \mathrm{res} = \mathrm{c} = 1.0$

8. 你可以添加其他测试程序，说明你编写的库的使用方式和在极端情况下的运行情况。若涉及到前面要求未覆盖并且合理的部分，可以加分。 **（bonus，不超过5%）**

三.项目限制

只能使用C++完成，禁止使用第三方库（不包括STL或编译器自带的库）。

四.提交要求

1. 提交你编写的计算图库，请遵守OOP的设计规范。
2. 给出测试代码，至少包含上面所述的所有示例输入和输出，以及使其能够编译的Makefile。

3. 在readme.md或readme.txt中写明程序的运行环境。（你的库最好能跨平台运行，并且依赖项尽量少，否则别的组将很难运行你的代码。）
4. 给出一个说明文档（markdown或word），写清计算图库的结构、封装、接口。给出开发者指导，便于别的小组能够阅读你的代码。（字数不限，目标是能让别人在最短时间内明白项目结构，太短或太长都不太好。）
5. 善用注释，便于别的小组能够阅读你的代码。
6. 在根目录提交一个developer.txt，写明所有组员的学号姓名。除此以外，项目的任何地方（包括代码、注释、文档）禁止出现任何个人信息。
7. 组与组之间可以讨论，但禁止以任何形式交换代码。在第二阶段互评的过程中，我们会随机发放代码，禁止互相讨论每组手上有哪些代码或者打听分数。最终投票结果我们会在第二阶段结束后给出。这一项涉及到最终得分的公平性，请大家自觉维护。