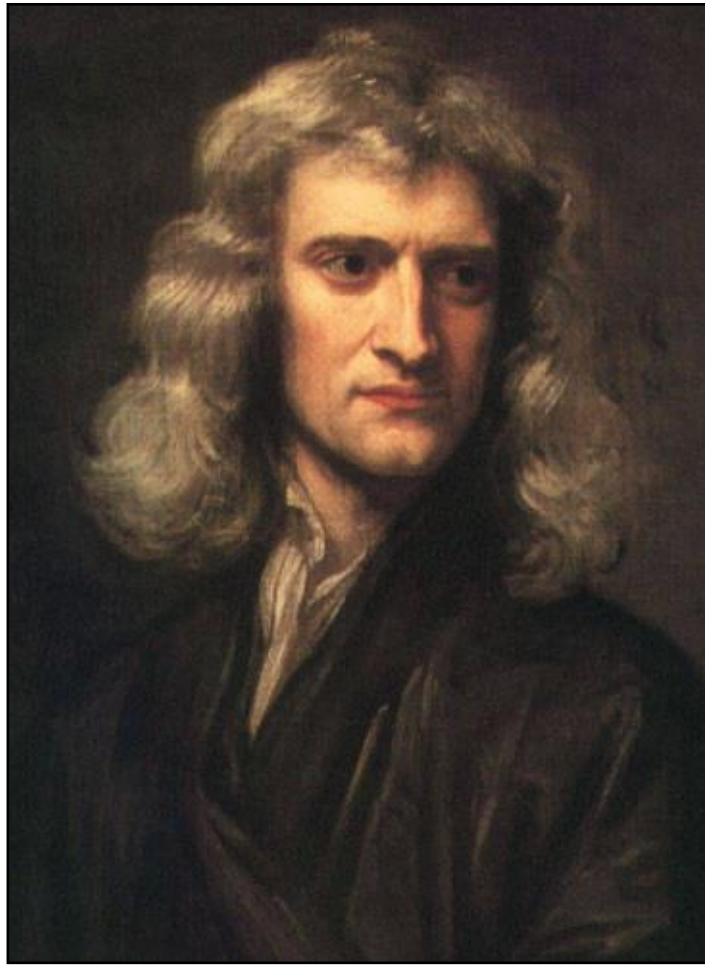


Oops

Goodman Tao

2019-09-27



无比崇敬的 *Isaac Newton* 爵士

目录

1. 起因.....	2
2. 源码.....	2
3. Hello, world!.....	3
4. Object.....	6
5. OOP	7
5.1. 继承.....	7
5.2. 多态.....	13
6. 特性.....	13
7. 规范.....	13
8. API 汇总.....	13
9. 原理.....	13
10. 设计模式实例	13
11. 感谢.....	错误!未定义书签。
12. 一起.....	错误!未定义书签。

1. 起因

“OopC”是“Object Oriented Programming in C”的缩写。应该归咎于我的偏执吧，我特别喜欢 C 语言简约的语法和高效的性能，但很遗憾的是它没有面向对象的特性。我曾试图深入理解和学习 C++，但是它太过庞大，这显然和驻留在我头脑里的观点是不一致的。优雅的事物应该是简单而又强大的，或者说用相对简单的事物取得更大的效益，或者说我所认为的最优化。

事实上不乏前辈追求或追求过同样的事情。和他们的追求或许有些不同，我的另一个目标是实用，而不是完全空洞的优雅或者不切实际的追求性能，它们之间需要合理的权衡。这也在 OopC 的代码中有所体现——提供面向对象特性的支持，而非达到“所有的都是对象”的目的。

2. 源码

OopC 的源代码托管在 GitHub 上，<https://github.com/GoodmanTao/OopC.git>，编译环境为 Visual Studio 2017，使用标准 C99 实现。采用 MIT 授权，也就是说，如果我的代码有幸能供您使用，还望您将软件著作权声明的证书附加到所使用的项目中，此外，没有其它的要求了。如果能够通知我一下，您正在使用这些代码，我会非常高兴的。

代码的目录如图 2.1，

名称	修改日期	类型	大小
.git	2019/9/20 22:32	文件夹	
.vs	2019/9/17 18:42	文件夹	
doc	2019/9/20 23:33	文件夹	
OopC	2019/9/19 20:33	文件夹	
.gitignore	2019/9/17 18:42	文本文档	1 KB
LICENSE	2019/9/17 18:42	文件	2 KB
OopC.sln	2019/9/19 20:33	Microsoft Visual...	7 KB
README.md	2019/9/17 18:42	MD 文件	1 KB

图 2.1

doc/ 包含项目的说明文档。OopC.sln 为项目解决方案。OopC/ 包含与项目核心库代码和相关的示例工程，如下图 2.2，

名称	修改日期	类型	大小
__dll	2019/9/19 20:33	文件夹	
__include	2019/9/19 20:33	文件夹	
__lib	2019/9/19 20:33	文件夹	
_DP_1_Creational_SimpleFactorySample	2019/9/20 0:56	文件夹	
_DP_2_Creational_FactoryMethodSam...	2019/9/20 0:57	文件夹	
_OO_1_Library	2019/9/20 0:58	文件夹	
_OO_2_Encapsulation	2019/9/19 23:57	文件夹	
_OO_3_Inheritance	2019/9/19 23:32	文件夹	
_OO_4_Polymorphism	2019/9/20 0:56	文件夹	
Debug	2019/9/19 20:45	文件夹	

图 2.2

文件夹名称前缀“OO”表示“Object Oriented”。_OO_1_Library/ 包含 OopC 的核心代码，该工程在编译后输出 OopBase.dll 至 __dll/, 输出 OopBase.lib 至 __lib/, 复制 OopBase.h 至 __include/。其余三个以“OO”开头的目录，正如其名称后缀一样，为示例代码，分别演示 OopC 的封装、继承和多态特性。“DP”前缀表示“Design Pattern”，以前缀开头的文件夹表示该文件夹下的工程演示一种设计模式的实现，比如上图中“_DP_1_Creational_SimpleFactorySample”，该工程演示设计模式中的创建型模式，具体为简单工厂模式。到文档撰写日止，只完成了两个模式的示例代码的编写，后面会持续更新。文件夹中的数字表示推荐阅读顺序，个人推荐先按序阅读“OO”部分，然后阅读“DP”部分。

3. Hello, world!

照例，我们先体验一下 OopC 的“Hello, world!”，当然不是演示打印一条语句，这里通过该例子，展示 OopC 是如何支持 C 语言面向对象特性的。

➤ HelloWorld.h

```

1  #ifndef HELLOWORLD_H
2  #define HELLOWORLD_H
3  #include <OopBase.h>
4
5  CLASSDEF (HelloWorld)
6
7  typedef ParamNull HelloWorld_Print;
8
9  #endif // !HELLOWORLD_H

```

➤ HelloWorld.c

```

1  #include "HelloWorld.h"
2

```

```

3  #include <malloc.h>
4  #include <stdio.h>
5
6  struct HelloWorld
7  {
8      CHAINDEF;
9  };
10
11  //////////////////////////////////////
12  //
13
14  static void Print(void *pParams)
15  {
16      HelloWorld *pThis = ((ParamIn *)pParams)->pInst;
17      HelloWorld_Print *pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
18
19      printf("Hello, world!.\n");
20  }
21
22  //////////////////////////////////////
23  //
24
25  void INVOKE(HelloWorld)
26  (HelloWorld *pInst, char *pFuncName, void *pParams)
27  {
28      DOINVOKE(pInst, pFuncName, pParams);
29  }
30
31  void *EXTEND(HelloWorld) (HelloWorld *pInst)
32  {
33      DOEXTEND(pInst);
34  }
35
36  void DELETE(HelloWorld) (HelloWorld **ppInst)
37  {
38      DODELETE(ppInst, HelloWorld, Object);
39  }
40
41  HelloWorld *CREATE(HelloWorld) ()
42  {
43      DOCREATE(pCreate, HelloWorld, Object, NULL,
44              METHOD(Print));
45      return pCreate;
46  }

```

➤ main.c

```

1  #include "HelloWorld.h"
2
3  int main(int argc, char **argv)
4  {

```

```

5     HelloWorld *pHllWrld = CREATE(HelloWorld)();
6
7     INVOKE(HelloWorld)(pHllWrld, "Print", NULL);
8
9     DELETE(HelloWorld)(&pHllWrld);
10
11    return 0;
12 }

```

头文件 HelloWorld.h 中第 1、2、9 行的条件编译指令防止重复包含类。第 3 行的预编译包含指令包含 `OpBase.h`，这是 OopC 的核心头文件。第 5 行的 `CLASSDEF` 类函数宏入参为 `HelloWorld`，表示定义一个类 `HelloWorld`。第 7 行 `typedef` 类型定义的含义为，类 `HelloWorld` 有一个名为 `Print` 的方法，方法的输入和输出参数为空（使用 `ParamNull` 示意，定义该结构体的目的也在于此）。至此，`HelloWorld` 类的类定义就完成了。

类实现文件 HelloWorld.c 中，第 1 行包含类头文件。第 3、4 行包含类实现时所需的头文件。第 6~9 行包含类的数据域结构体，这个结构体的名称必须与类名相同。在 OopC 中，所有的类都应该有数据域结构体，每个数据域结构体的名称都应该与类名相同。每个类数据域结构体都应包含 `CHAINDEF`，如代码第 8 行所示。

第 14~20 行定义类的成员方法 `Print`，您可能会发现，在说明头文件 HelloWorld.h 时，曾提到 `Print` 方法输入输出参数为空，而这里的定义并非如此——`Print` 的输入参数为指针类型。实际上，在类定义时指明 `Print` 方法的输入输出参数为空，意在说明 `pIn` 参数为 `NULL`，如代码第 17 行所示。这里需要重点指出的是类的所有成员方法的存储类别都推荐声明为静态内部链接 `static`，入参都必须声明为空指针类型 `void *`，返回参数都推荐声明为空类型 `void`。第 16 行获取类的 `this` 指针，第 17 行获取输入输出参数，因为 `Print` 方法的输入输出参数为空，所以运行时 `pIn` 的值也就是 `NULL`。

第 25~46 行，也就是实现文件中的剩下部分内容，为类的控制函数，在 OopC 中，每个类都有 4 个控制函数：调用函数（`INVOKE`）、扩展函数（`EXTEND`）、删除函数（`DELETE`）、创建函数（`CREATE`），删除函数和创建函数也就是析构函数和构造函数。调用函数用于帮助客户代码调用实例的方法，在 main.c 中有其使用示例。扩展函数有两个作用，其一是帮助子类继承该类，其二是子类到父类的类型转换，如何使用，在继承示例_OO_3_Inheritance 中有所体现。所有类的调用函数和扩展函数都是一致的，删除函数也是大同小异，创建函数除了不同的类的具体业务逻辑之外，大部分代码都相同。第 38 行进行内存清除。第 43、44 行创建类实例，`METHOD(Print)` 指明该方法可以被客户代码通过实例调用，如果还有一个方法 `Dummy` 可以让外界调用，第 43 行 `NULL` 后的参数则应改为 `METHOD(Print)METHOD(Dummy)`，

在本例中，第 14~20 行实际已经给出了 `Print` 方法的实现，如果添加的方法没有实现，则应改为 `AMETHOD(Print)`，`A` 的含义为 `Abstract`。第 43 行的 `Object` 参数说明类 `HelloWorld` 继承了它，`NULL` 对应的形参，用于释放类相关的额外内存，具体怎么使用在后续章节将会有具体示例予以说明，`pCreate` 指出类函数宏 `DOCREATE` 创建了一个名为 `pCreate` 的实例。

客户代码 `main.c` 中，第 5 行创建类实例，在 `OopC` 中，有创建则有删除，因此第 9 行删除类实例。第 7 行，与一般的函数调用形式相异，`OopC` 中对成员方法的调用通过类的控制函数——调用函数实现，类函数宏 `INVOKE` 的输入参数为类名称 `HelloWorld`，表示调用类 `HelloWorld` 的调用函数，以实现成员方法的调用，第一个参数为类实例，表示调用将调用该实例的成员方法，第二个参数为 `"Print"`，表示希望调用名 `"Print"` 为的成员方法，第三个参数为 `NULL`，表示调用该方法的传入传出参数为空。

好了，现在我们的“Hello, world!”的例子就完成了。注意在编译的时候需要添加头文件 `OopBase.h`，库文件 `OopBase.lib`，运行时需要添加动态链接库文件 `OopBase.dll`。运行成功后，控制台将打印 `Hello, world!`。

4. Object

`Object` 类是 `OopC` 核心库中唯一的一个类，包含在 `OopBase.h` 中，在 `OopC` 中，每个类都是 `Object` 类的子类，这并不意味着您设计的类会自动继承 `Object` 类，相反如果您设计的类没有继承自其它类，则应该显式继承该类。

下面是 `Object` 类的定义，

```
1 typedef struct Object Object;
2
3 Object* CREATE(Object) ();
4 void INVOKE(Object) (Object* pInst, char* pFuncName, void* pParams);
5 void* EXTEND(Object) (Object* pInst);
6 void DELETE(Object) (Object** ppInst);
7
8 typedef struct { bool* pRet; void* pToCmpr; } Object_Equal;
9 typedef ParamNull Object_ToString;
```

`OopC` 中，类本质是结构体和函数的一个功能组合。结构体变量作为类实例，而函数因为只能通过结构体变量来调用所以成为类的成员方法。因此第 1 行将结构体声明为 `Object` 类型，也就声明了 `Object` 类。

在“Hello, world!”示例中，类头文件 `HelloWorld.h` 中并没有显示声明四个控制函数，这

是因为在宏 `CLASSDEF` 中已经给出了声明，这里因为没有使用该宏，因此第 3~6 行显式声明四个控制函数：创建函数 `CREATE(Object)`、调用函数 `INVOKE(Object)`、扩展函数 `EXTEND(Object)` 和删除函数 `DELETE(Object)`。第 3 行可以看出，创建函数没有输入参数，等价于无参构造函数。第 4 行调用函数包含三个输入参数：类实例、将要调用的方法名称字符串和该方法的输入输出参数，它是一个结构体指针，什么样的结构体指针呢？不急。第 5 行为扩展函数，入参为类实例，返回一个指针。第 6 行为删除函数，它的参数为类实例的地址。

我们先看第 9 行，从“Hello, world!”示例我们可以知道，`Object` 类包含一个 `ToCString` 方法，该方法的输入输出参数为 `NULL`。从第 8 行可以看出，`Object` 类还包含一个 `Equal` 方法，该方法和 `ToCString` 不同，它有两个参数，`bool` 指针 `pRet` 为返回值（当然，您可以将它作为输入参数，不过这好像不太优雅），表明比较结果，`void*` 指针 `pToCmpr` 为需要与之比较的参数。我们刚才说到，调用函数的第三个参数为一个结构体指针，现在应该比较清晰了，这个结构体就是对应方法的出入参数结构体。下面用一个例子来说明，

```
bool bRet = false;
Object *pToCmpr = CREATE(Object)();
Object *pObj = CREATE(Object)();
INVOKE(Object)(pObj, "Equal", &(Object_Equal){&bRet, pToCmpr});
```

5. OOP

5.1. 继承

在工程_OO_3_Inheritance 中，演示了 OopC 的继承。首先定义了一个计算器 `Calculator` 类，用于模拟算术运算功能，代码如下：

➤ Calculator.h

```
1  #ifndef CALCULATOR_H_
2  #define CALCULATOR_H_
3
4  #include <OopBase.h>
5
6  CLASSDEF(Calculator)
7
8  typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; } Calculator_Input;
9  typedef ParamNull Calculator_Add;
10 typedef struct { double *pdblRet; } Calculator_Output;
```

```

11 typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double *pdblRet; }
12 Calculator_Subtract;
13 typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double* pdblRet; }
14 Calculator_Multiply;
15
16 #endif // !CALCULATOR_H

```

第 8 行定义了一个出入参数结构体 `Calculator_Input`，表明该类具有一个名为 `Input` 的方法，该方法用于输入两个操作数 `dblOpL` 和 `dblOpR` 到计算器中。第 9 行表明类具有方法 `Add`，其输入输出参数为空，该方法执行求和操作。第 10 行表明通过调用类实例的 `Output` 方法可以获取计算结果。第 11~14 行表明类还存在 `Subtract` 方法和 `Multiply` 方法，分别对应减法和乘法，`dblOpL` 和 `dblOpR` 均为输入操作数，`dblOpRet` 为计算得到的结果——差和乘积。观察可以发现，类 `Calculator` 所模拟的计算器有两种求值方式，加法为惰性求值，而减法和乘法为“即时求值”。容易理解，`Add` 方法惰性求值，所以需要存储两个输入参数和相应的输出结果。

下面来看计算器类 `Calculator` 的实现方式，代码如下：

➤ `Calculator.c`

```

1  #include "Calculator.h"
2
3  #include <malloc.h>
4
5  struct Calculator
6  {
7      CHAINDEF;
8
9      double dblOperandL;
10     double dblOperandR;
11
12     double dblResult;
13 };
14
15 //////////////////////////////////////
16 //
17
18 static void Input(void* pParams)
19 {
20     Calculator* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
21     Calculator_Input* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
22
23     pThis->dblOperandL = pIn->dblOpL;
24     pThis->dblOperandR = pIn->dblOpR;
25 }
26

```

```

27 static void Add(void* pParams)
28 {
29     Calculator* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
30     Calculator_Add* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
31
32     pThis->dblResult = pThis->dblOperandL + pThis->dblOperandR;
33 }
34
35 static void Output(void* pParams)
36 {
37     Calculator* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
38     Calculator_Output* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
39
40     *pIn->pdblRet = pThis->dblResult;
41 }
42
43 static void Subtract(void* pParams)
44 {
45     Calculator* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
46     Calculator_Subtract* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
47
48     *pIn->pdblRet = pIn->dblOpL - pIn->dblOpR;
49 }
50
51 static void Multiply(void* pParams)
52 {
53     Calculator* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
54     Calculator_Multiply* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
55
56     *pIn->pdblRet = pIn->dblOpL * pIn->dblOpR;
57 }
58
59 ////////////////////////////////////////////////////
60 //
61
62 void INVOKE(Calculator)
63 (Calculator* pInst, char* pFuncName, void* pParams)
64 {
65     DOINVOKE(pInst, pFuncName, pParams);
66 }
67
68 void* EXTEND(Calculator) (Calculator* pInst)
69 {
70     DOEXTEND(pInst);
71 }
72
73 void DELETE(Calculator) (Calculator** ppInst)
74 {
75     DODELETE(ppInst, Calculator, Object);

```

```

76 }
77
78 Calculator* CREATE (Calculator) ()
79 {
80     DOCREATE (pCreate, Calculator, Object, NULL,
81         METHOD (Input)
82         METHOD (Add)
83         METHOD (Output)
84         METHOD (Subtract)
85         METHOD (Multiply));
86
87     return pCreate;
88 }

```

第 9~12 行类的数据域中定义了一个变量，用于存储两个操作参数和返回值。第 59~88 行为类的控制函数。类成员 Input、Add、Output、Subtract 和 Multiply 方法的前两行获取 `this` 指针和方法的输入参数。整体的逻辑非常简单。

可以看出类 `Calculator` 作为算术运算模型，它缺少除法运算，我们将通过 OopC 的继承特性来扩展该类。另外，我们再提出一点新的需求，将加法改为“即时求值”。改造的后的代码如下，

➤ CalculatorExt.h

```

1  #ifndef CALCULATOREXT_H
2  #define CALCULATOREXT_H
3
4  #include "Calculator.h"
5
6  CLASSDEF (CalculatorExt)
7
8  typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double* pdblRet; }
9  CalculatorExt_Add;
10 typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double* pdblRet; }
11 CalculatorExt_Subtract;
12 typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double* pdblRet; }
13 CalculatorExt_Multiply;
14 typedef struct { double dblOpL; double dblOpR; double* pdblRet; }
15 CalculatorExt_Divide;
16
17 #endif // !CALCULATOREXT_H

```

第 4 行包含类 `Calculator` 的头文件，表明类 `CalculatorExt` 继承自 `Calculator`。第 8~15 行的出入参数结构体表明类具有加减乘除运算的方法，他们都具有两个操作数和一个返回值。代码 `CalculatorExt.c` 展示类 `CalculatorExt` 是如何继承和扩展类 `Calculator` 的。

➤ CalculatorExt.c

```
1  #include "CalculatorExt.h"
2
3  #include <malloc.h>
4  #include "Calculator.h"
5
6  struct CalculatorExt
7  {
8      CHAINDEF;
9  };
10
11  //////////////////////////////////////
12  //
13
14  static void Add(void* pParams)
15  {
16      CalculatorExt* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
17      CalculatorExt_Add* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
18
19      //这里类似于对象组合技术中的调用转发
20      DOINVOKESUPER(pThis, "Input",
21                    &(Calculator_Input) { pIn->dblOpL, pIn->dblOpR });
22      DOINVOKESUPER(pThis, "Add", NULL);
23      DOINVOKESUPER(pThis, "Output",
24                    &(Calculator_Output) { pIn->pdblRet });
25  }
26
27  //static void Subtract(void* pParams); //直接继承
28
29  static void Multiply(void* pParams)
30  {
31      CalculatorExt* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
32      CalculatorExt_Multiply* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
33
34      //调用转发
35      DOINVOKESUPER(pThis, "Multiply", pIn);
36  }
37
38  static void Divide(void* pParams)
39  {
40      CalculatorExt* pThis = ((ParamIn*)pParams)->pInst;
41      CalculatorExt_Divide* pIn = ((ParamIn*)pParams)->pIn;
42
43      *pIn->pdblRet = pIn->dblOpL / pIn->dblOpR; //除0...
44  }
45
46  //////////////////////////////////////
47  //
48
```

```

49 void INVOKE(CalculatorExt)
50 (CalculatorExt* pInst, char* pFuncName, void* pParams)
51 {
52     DOINVOKE(pInst, pFuncName, pParams);
53 }
54
55 void* EXTEND(CalculatorExt) (CalculatorExt* pInst)
56 {
57     DOEXTEND(pInst);
58 }
59
60 void DELETE(CalculatorExt) (CalculatorExt** ppInst)
61 {
62     DODELETE(ppInst, CalculatorExt, Calculator);
63 }
64
65 CalculatorExt* CREATE(CalculatorExt) ()
66 {
67     DOCREATE(pCreate, CalculatorExt, Calculator, NULL,
68             METHOD(Add)
69             METHOD(Multiply)
70             METHOD(Divide));
71
72     return pCreate;
73 }

```

为了将 Add 方法扩展成“即时求值”的计算方式，我们在第 14~25 行重写了 Add 方法，该方法前两行获取 `this` 指针和输入参数。第 20~24 行调用了三次类函数宏 `DOINVOKESUPER`，使用该宏可以调用父类的方法，也就是，这里依次调用了父类 `Calculator` 的三个方法 `Input`、`Add` 和 `Output` 实现求和运算，在 C 语言中，实现两个数相加的功能自然是简单的，这里没有直接将两个输入参数 `pIn->dblOpL` 和 `pIn->dblOpR` 相加然后返回，而是将求和请求转发至父类，这样做的目的是想说明 OopC 中的一种通过转发调用实现代码复用的方式。实际上，子类并不能访问父类的私有方法¹和所有数据域，子类和其它使用父类的客户代码一样，都只能访问父类所暴露出来的接口，这里父类 `Calculator` 所暴露出来的接口只有 `Input`、`Add`、`Output`、`Subtract` 和 `Multiply`。在父类中已经存在“即时求值”的 `Subtract` 方法，通过继承，子类获取到父类的该方法，因此在第 27 行通过注释予以说明，无需再次实现该方法，同样不出您所料，子类也自动继承了 `Input` 和 `Output` 方法。第 29~36 行以调用转发的方式重写了父类的 `Multiply` 方法，这里旨在说明当父类指针引用子类实例时，如果通过该指针调用 `Multiply` 方法，则子类的同名方法将被调用。第 38~44 行扩展了计算器的

¹ 这里的私有方法指的是，在父类构造方法 `DOCREATE` 中没有作为 `METHOD` 入参的方法。

除法计算功能，除 0 的问题没有解决，不过这个问题现在不是我们关注的重点。第 46~73 行的代码实现类 `CalculatorExt` 的控制函数，其中第 68~70 行，`Divide` 方法为新增加的方法，自然要作为 `DOCREATE` 的参数以声明其为公共方法，需要注意的是 `Add` 和 `Multiply` 方法，因为它们被重写，所以需要添加到 `DOCREATE` 的参数中。

5.2. 多态

6. 特性

7. 规范

8. API 汇总

9. 原理

10. 设计模式实例

11. 一起

如果您喜欢 OopC，并且想加入进来贡献自己的智慧，请记住，我一直在等待您这样的朋友。如果您在阅读代码后，有什么更好的建议，真诚的希望您能够向我提出来。如果使用过程中有什么问题，记得加 QQ 群咨询哦，我们的 QQ 据点是 530484560。

12. 感谢

OopC 是我非常喜欢的，应该说是一件作品吧。工作之余也投入了许多精力去思考和实践。如果对您有丝毫帮助，我将非常高兴。

谢谢您的捐赠!

13.^_^

