《源码探秘 CPython》68. 深入 class

原创 古明地觉 古明地觉的编程教室 2022-04-14 08:30

Python 的类里面有很多以双下划线开头、双下划线结尾的函数，我们称之为魔法函数。Python 的每一个操作符，都被抽象成了一个魔法函数。

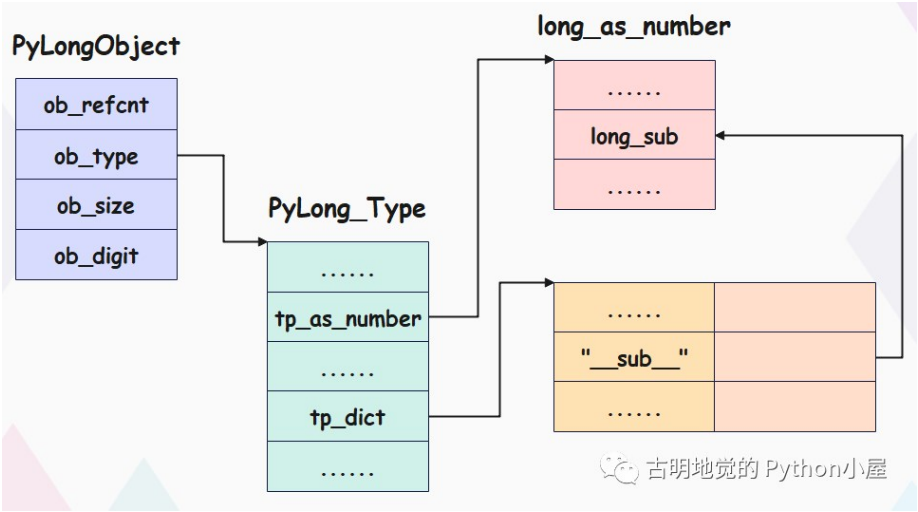
比如整数可以相减，这就代表 int 这个类里面肯定定义了 __sub__ 函数；字符串不能相减，代表 str 这个类里面没有 __sub__函数；而整数和字符串都可以执行加法操作，显然 int、str 内部都定义了__add__函数。

```
class MyInt(int):

    def __sub__(self, other):
        return int.__sub__(self, other) * 3


a = MyInt(4)
b = MyInt(1)
print(a - b)  # 9
```

我们自己实现了一个类，继承自 int。当执行 **a - b** 的时候，肯定执行 MyInt 的__sub__，然后调用 int 的__sub__，得到结果之后再乘上3，逻辑上完全正确。

但是问题来了，首先调用 int.__sub__ 的时候，我们知道底层肯定是调用long_as_number 中的 long_sub 函数。而 **int.__sub__(self, other)** 里面的参数类型显然都应该是 int，但我们传递的是 MyInt，那么虚拟机是怎么做的呢？

目前带着这些疑问，先来看一张草图，我们后面会一点一点揭开：



图中的"__sub__"对应的 value 并不是一个直接指向 long_sub 函数的指针，而是指向一个结构体，至于指向 long_sub 函数的指针则在该结构体内部。而这个结构体是谁，以及具体细节，我们后面会详细说。

另外我们知道，一个对象能否被调用，取决于它的类对象（或者说类型对象）中是否定义了__call__函数。因此：所谓调用，就是执行类型对象的 tp_call 指向的函数。

```
class Girl:

    def __call__(self, *args, **kwargs):
        return "古明地觉的 Python小屋"

```

```
girl = Girl()
print(girl())  # 古明地觉的 Python小屋
```

在虚拟机层面，调用这个操作是通过 PyObject_Call 函数实现的。

```
a = 1
a()
# TypeError: 'int' object is not callable
```

而整数对象是不可调用的，这意味着 int 这个类里面没有 __call__ 函数，换言之 PyLong_Type 里面的 tp_call 为 NULL。

```
# 但是我们通过反射打印的时候
# 发现 int 是有__call__函数的啊
print(hasattr(int, "__call__"))  # True

# 其实这个__call__不是int里面的,而是type的
print("__call__" in dir(int))  # False
print("__call__" in dir(type))  # True
```

如果一个对象不存在某个属性，那么会自动到对应的类型对象里面去找。int 的类型是 type，而 type 里面有 __call__，因此 **hasattr(int, "__call__")** 结果为 True。

```
a1 = int("123")
a2 = type.__call__(int, "123")
a3 = int.__call__("123")
print(a1, a2, a3)  # 123 123 123
```

里面的 a1 和 a2 是等价的，因为调用某个对象等价于调用其类型对象的 __call__ 函数；而 a3 和 a2 也是等价的，因为 type 是 int 的类型对象，而 int 没有 __call__，所以会去类型对象 type 里面查找。

观察 a3 和 a2，我们发现这是不是就类似于类型对象和实例对象之间的关系呢？所以我们说 class 具有二象性，站在实例对象的角度上，它就是类型对象；站在元类 type 的角度上，它就是实例对象。

实例对象在调用方法时，会将自身作为第一个参数传进去，所以 **int.__call__("123")** 等价于 **type.__call__(int, "123")**

那么问题来了，为啥整数在调用的时候会报错呢？首先整数在调用的时候，会执行 int 里面的 __call__，而 int 里面没有 __call__，所以报错了。可能这里就有人问了，难道不会到 type 里面找吗？答案是不会的，因为 type 是元类，是用来生成类的。

类对象在调用时，会执行 **type.__call__**，实例对象在调用时，会执行**类对象.__call__**。但如果类对象没有 __call__，就不会再去元类里面找了，而是会去父类里面找。

```
class A:
    def __call__(self, *args, **kwargs):
        print(self)
        return "古明地觉的 Python小屋"

class B(A):
    pass

class C(B):
    pass

c = C()
print(c())
"""
<__main__.C object at 0x000002282F3D9B80>
古明地觉的 Python小屋
```

```
17 """
```

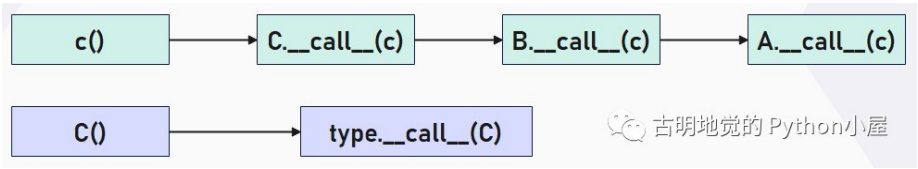
可以看到，给 C 的实例对象加括号的时候，会调用 C 里面的 __call__ 函数。但是 C 里面没有 __call__，那么这个时候会从父类里面找，而不是元类。因此最终执行 A 的 __call__，但 self 仍是 C 的实例对象，关于这个 self 是我们后续的重点，会详细剖析。

结论：在属性查找时，首先从对象本身进行查找，没有的话会从该对象的类型对象中进行查找，还没有的话就从类型对象所继承的父类中进行查找。

```python
class A:
    def __call__(self, *args, **kwargs):
        print(self)
        return "古明地觉的 Python小屋"

class B(A):
    pass

class C(B):
    pass

c = C()
print(c())
```

还是以这段代码为例：当调用类型对象 C 的时候，本质上是执行类型对象 C 的类型对象、也就是 type 里面的 __call__ 函数。

当调用实例对象 c 的时候，本质上是执行类型对象 C 里面的 __call__ 函数，但是 C 里面没有，这个时候怎么做？显然是沿着继承链进行属性查找，去找 C 继承的类里面的 __call__ 函数。



可能有人好奇，为什么没有 object？答案是 object 内部没有 __call__，object 和 int 一样，都是调用了 type.__call__。

```python
#因为 object 的类型是 type
#所以 object.__call__() 会执行 type.__call__(object)
print(object.__call__)
#<method-wrapper '__call__' of type object ......>
```

所以，所有的类对象都是可以调用的，因为 type 是类对象的类对象，而 type 内部有 __call__函数。至于实例对象能否调用，就看其类对象、以及类对象所继承的父类是否定义了 __call__ 函数。

比如 **str("xxx")** 是合法的，因为 str 的类对象 type 里面定义了 __call__；但 **"xxx"()** 则不合法、会报错，因为字符串的类对象 str、以及 str 所继承的父类里面没有 __call__。

但是注意，虽然 **"xxx"()** 会报错，但这不是一个在编译时就能够检测出来的错误，而是在运行时才能检测出来。至于原因，下面解释一下。

我们知道类对象都会有 tp_dict，这个成员指向一个 PyDictObject，表示这个对象支持哪些操作，而这个 PyDictObject 必须要在运行时动态构建。

所以都说Python效率慢，一个原因是所有对象都分配在堆上；还有一个原因就是类型无法在编译期间确定，导致大量操作都需要在运行时动态化处理，从而也就造成了Python运行时效率不高。

而且我们发现，像int、str、dict等内置类对象可以直接使用，这是因为解释器在启动时，会对这些内置类对象进行初始化的动作。这个初始化的动作会动态地在这些对象对应的PyTypeObject中填充一些重要的东西，其中也包括tp_dict，从而让这些内置类对象具备生成实例对象的能力。

而初始化的动作就从函数 PyType_Ready 拉开序幕。

虚拟机会调用 PyType_Ready 对内置类对象进行初始化，实际上， PyType_Ready 不仅仅是处理内置类对象，还会处理自定义类对象，并且 PyType_Ready 对内置类对象和自定义类对象的作用还不同。

内置类对象在底层是已经被静态定义好了的，所以在解释器启动的时候会直接创建。只不过我们说它还不够完善，因为有一部分属性需要在运行时设置，比如 tp_base，所以还需要再打磨一下，而这一步就交给了 PyType_Ready 。

但是对于我们自定义的类就不同了，PyType_Ready 做的工作只是很小的一部分，因为使用 class 自定义的类、假设是 class A，Python 一开始是不知道的。解释器在启动的时候，不可能直接就创建一个 PyA_Type 出来，因此对于我们自定义的类来说，需要在解释执行的时候进行申请内存、创建、初始化整个动作序列等等一系列步骤。

下一篇我们将从元类 type 入手（当然它也是类型对象），分析类型对象是如何初始化的。

> 虽然 type 是元类，但它和 int、str、dict、object 等类对象一样，底层都是一个 PyTypeObject 结构体实例。只不过它们的 ob_type，都被设置成了 &PyType_Type。

收录于合集 #CPython 97

‹ 上一篇
《源码探秘 CPython》69. 给类型对象设置类型和基类信息

下一篇 ›
《源码探秘 CPython》67. 回顾 Python 的对象模型