《源码探秘 CPython》88. 侵入 Python 虚拟机，动态修改底层数据结构和运行时

原创 古明地觉 古明地觉的编程教室 2022-05-13 08:30 发表于北京

收录于合集
#CPython
97个 >

楔子

分析了那么久的虚拟机，多少会有点无聊，那么本次我们来介绍一个好玩的，看看如何修改 Python 解释器的底层数据结构和运行时。了解虚拟机除了可以让我们写出更好的代码之外，还可以对 Python 进行改造。举个栗子：

是不是很有趣呢？通过 Python 内置的 ctypes 模块即可做到，而具体的实现方式我们一会儿说。所以本次我们的工具就是 ctypes 模块，需要你对它已经或多或少有一些了解，哪怕只有一点点也是没关系的。

声明：本文介绍的内容绝不能用于生产环境，仅仅只是为了更好地理解 Python 虚拟机、或者做测试的时候使用，用于生产环境是绝对的大忌。

重要的事情说三遍：不可用于生产环境，不可用于生产环境，不可用于生产环境。

用 Python 表示 C 的数据结构

Python 是用 C 实现的，如果想在 Python 的层面修改底层逻辑，那么我们肯定要能够将 C 的数据结构用 Python 表示出来。而 ctypes 提供了大量的类，专门负责做这件事情，下面按照类型属性分别介绍。

数值类型

C 语言的数值类型分为如下：

- **int：整型；**
- **unsigned int：无符号整型；**
- **short：短整型；**
- **unsigned short：无符号短整型；**
- **long：该类型取决于系统，可能是长整型，也可能等同于 int；**
- **unsigned long：该类型取决于系统，可能是无符号长整型，也可能等同于 unsigned int；**
- **long long：长整型；**

- unsigned long long：无符号长整型；
- float：单精度浮点型；
- double：双精度浮点型；
- long double：长双精度浮点型，此类型的浮点数占 16 字节；
- _Bool：布尔类型；
- ssize_t：等同于长整型；
- size_t：等同于无符号长整型；

和 Python 以及 ctypes 之间的对应关系如下：

C 类型	ctypes 类型	Python 类型
int	c_int	int
unsigned int	c_uint	int
short	c_short	int
unsigned short	c_ushort	int
long	c_long	int
unsigned long	c_ulong	int
long long	c_longlong	int
unsigned long long	c_ulonglong	int
float	c_float	float
double	c_double	float
long double	c_longdouble	float
_Bool	c_bool	bool
ssize_t	c_ssize_t	int
size_t	c_size_t	int

下面来演示一下：

```
import ctypes
#以下都是 ctypes 提供的类
#将 Python 的数据传进去，就可以转换为 C 的数据
print(ctypes.c_int(1))  # c_long(1)
print(ctypes.c_uint(1))  # c_ulong(1)
print(ctypes.c_short(1))  # c_short(1)
print(ctypes.c_ushort(1))  # c_ushort(1)
print(ctypes.c_long(1))  # c_long(1)
print(ctypes.c_ulong(1))  # c_ulong(1)
print(ctypes.c_longlong(1))  # c_longlong(1)
print(ctypes.c_ulonglong(1))  # c_ulonglong(1)
print(ctypes.c_float(1.1))  # c_float(1.100000023841858)
print(ctypes.c_double(1.1))  # c_double(1.1)
print(ctypes.c_longdouble(1.1))  # c_double(1.1)
print(ctypes.c_bool(True))  # c_bool(True)
# 相当于c_longlong和c_ulonglong
print(ctypes.c_ssize_t(10))  # c_longlong(10)
print(ctypes.c_size_t(10))  # c_ulonglong(10)
```

而 C 的数据转成 Python 的数据也非常容易，只需要在此基础上调用一下 value 即可。

```
import ctypes
print(ctypes.c_int(1024).value)  # 1024
```

```
print(ctypes.c_int(1024).value == 1024)  # True
```

C 语言的字符类型分为如下：

- **char：一个 ascii 字符或者一个 -128~127 的整数；**
- **unsigned char：一个 ascii 字符或者一个 0~255 的整数；**
- **wchar：一个 unicode 字符**

和 Python 以及 ctypes 之间的对应关系如下：

C 类型	ctypes 类型	Python 类型
char	c_char / c_byte	int / single byte
unsigned char	c_ubyte	int / single byte
wchar_t	c_wchar	int / single unicode

举个栗子：

```
import ctypes

#必须传递一个字节(里面是 ascii 字符)，或者一个 int
#代表 C 里面的字符
print(ctypes.c_char(b"a"))  # c_char(b'a')
print(ctypes.c_char(97))  # c_char(b'a')
#和 c_char 类似
#但是 c_char 既可以接收单个字节、也可以接收整数
#而这里的 c_byte 只接收整数
print(ctypes.c_byte(97))  # c_byte(97)

# 同样只能传递整数
print(ctypes.c_ubyte(97))  # c_ubyte(97)

#传递一个 unicode 字符
#当然 ascii 字符也是可以的，并且不是字节形式
print(ctypes.c_wchar("憨"))  # c_wchar('憨')
```

下面看看如何构造一个 C 中的数组：

```
import ctypes

#C 里面创建数组的方式如下:int a[5] = {1, 2, 3, 4, 5}
#使用 ctypes 的话
array = (ctypes.c_int * 5)(1, 2, 3, 4, 5)
#(ctypes.c_int * N) 等价于 int a[N]，相当于构造出了一个类型
#然后再通过调用的方式指定数组的元素即可
#这里指定元素的时候可以用 Python 的 int
#会自动转成 C 的 int，当然我们也可以使用 c_int 手动包装
print(len(array))  # 5
print(array)  # <__main__.c_int_Array_5 object at 0x7f96276fd4c0>

for i in range(len(array)):
    print(array[i], end=" ")  # 1 2 3 4 5
print()
```

```
16
17 array = (ctypes.c_char * 3)(97, 98, 99)
18 print(list(array))  # [b'a', b'b', b'c']
19
20 array = (ctypes.c_byte * 3)(97, 98, 99)
21 print(list(array))  # [97, 98, 99]
```

我们看一下数组在 Python 里面的类型，因为数组存储的元素类型为 c_int、数组长度为 5，所以这个数组在 Python 里面的类型就是 c_int_Array_5，而打印的时候则显示为 c_int_Array_5 的实例对象。

我们可以调用 len 方法获取长度，也可以通过索引的方式获取指定的元素，并且由于内部实现了迭代器协议，因此还能使用 for 循环去遍历，或者使用 list 直接转成列表等等，都是可以的。

结构体应该是 C 里面最重要的结构之一了，假设 C 里面有这样一个结构体：

```
1 typedef struct {
2     int field1;
3     float field2;
4     long field3[5];
5 } MyStruct;
```

要如何在 Python 里面表示它呢？

```
1  import ctypes
2
3
4  #C 中的结构体在 Python 里面显然要通过类来实现
5  #但是这个类一定要继承 ctypes.Structure
6  class MyStruct(ctypes.Structure):
7      #结构体的每一个成员对应一个元组
8      #第一个元素为字段名，第二个元素为类型
9      #然后多个成员放在一个列表中，并用变量 _fields_ 指定
10     _fields_ = [
11         ("field1", ctypes.c_int),
12         ("field2", ctypes.c_float),
13         ("field3", (ctypes.c_long * 5)),
14     ]
15 #field1、field2、field3 就类似函数参数一样
16 #可以通过位置参数、关键字参数指定
17 s = MyStruct(field1=ctypes.c_int(123),
18              field2=ctypes.c_float(3.14),
19              field3=(ctypes.c_long * 5)(11, 22, 33, 44, 55))
20
21 print(s)  # <__main__.MyStruct object at 0x7ff9701d0c40>
22 print(s.field1)  # 123
23 print(s.field2)  # 3.140000104904175
24 print(s.field3)  # <__main__.c_long_Array_5 object at 0x...>
25 print(list(s.field3))  # [11, 22, 33, 44, 55]
```

就像实例化一个普通的类一样，然后也可以像获取实例属性一样获取结构体成员。这里获取之后会自动转成 Python 的类型，比如 c_int 类型会自动转成 int，c_float 会自动转成 float，而数组由于 Python 没有内置，所以直接打印为 c_long_Array_5 的实例对象，我们需要调用 list 转成列表。

指针是 C 语言灵魂，而且绝大部分的 Bug 也都是指针所引起的，那么指针类型在 Python 里面如何表示呢？非常简单，通过 ctypes.POINTER 即可表示 C 的指针类型，比如：

- **C 的 int * 可以用 POINTER(c_int) 表示；**
- **C 的 float * 可以用 POINTER(c_float) 表示；**

所以通过 POINTER(类型) 即可表示对应的指针类型，而如果是获取某个对象的指针，可以通过 pointer 函数。

```
from ctypes import *

# 在 C 里面就相当于，long a = 1024; long *p = &a;
p = pointer(c_long(1024))
print(p)  # <__main__.LP_c_long object at 0x7ff3639d0dc0>
print(p.__class__)  # <class '__main__.LP_c_long'>

# pointer 可以获取任意类型的指针
print(
    pointer(c_float(3.14)).__class__
)  # <class '__main__.LP_c_float'>
print(
    pointer(c_double(2.71)).__class__
)  # <class '__main__.LP_c_double'>
```

同理，我们也可以通过指针获取指向的值，也就是对指针进行解引用。

```
from ctypes import *


p = pointer(c_long(123))
# 调用 contents 即可获取指向的值，相当于对指针进行解引用
print(p.contents)  # c_long(123)
print(p.contents.value)  # 123

# 如果对 p 再使用一次 pointer 函数，那么会获取 p 的指针
# 此时相当于二级指针 long **，所以类型为 LP_LP_c_long
print(
    pointer(pointer_p)
)  # <__main__.LP_LP_c_long object at 0x7fe6121d0bc0>

# 三级指针，类型为 LP_LP_LP_c_long
print(
    pointer(pointer(pointer_p))
)  # <__main__.LP_LP_LP_c_long object at 0x7fb2a29d0bc0>

# 三次解引用，获取对应的值
print(
    pointer(pointer(pointer_p)).contents.contents.contents
)  # c_long(123)
print(
    pointer(pointer(pointer_p)).contents.contents.contents.value
)  # 123
```

总的来说，还是比较好理解的。但我们知道，在 C 中数组等于数组首元素的地址，我们除了传一个指针过去之外，传数组也是可以的。

```
from ctypes import *

class MyStruct(Structure):
    _fields_ = [
        ("field1", POINTER(c_long)),
        ("field2", POINTER(c_double)),
    ]


#结构体也可以先创建，然后再实例化成员
s = MyStruct()
```

```
#传递指针
s.field1 = pointer(c_long(1024))
#传递数组
s.field2 = (c_double * 3)(3.14, 1.732, 2.71)
```

数组在作为参数传递的时候会退化为指针，所以数组的长度信息就丢失了，使用 sizeof 计算出来的结果就是一个指针的大小。因此将数组作为参数传递的时候，应该将当前数组的长度信息也传递过去，否则可能会访问非法的内存。

然后在 C 里面还有 char *、wchar_t *、void *，这些指针在 ctypes 里面专门提供了几个类与之对应。

图片

```
from ctypes import *


# c_char_p 就是 c 里面字符数组了
# 其实我们可以把它看成是 Python 中的 bytes 对象
# 而里面也要传递一个 bytes 对象，然后返回一个地址
# 下面就等价于 char *s = "hello world";
x = c_char_p(b"hello world")
print(x)  # c_char_p(2196869884000)
print(x.value)  # b'hello world'

# 直接传递一个字符串，同样返回一个地址
y = c_wchar_p("古明地觉")
print(y)  # c_wchar_p(2196868827808)
print(y.value)  # 古明地觉
```

由于 c_char_p 和 c_wchar_p 是作为一个单独的类型存在的（虽然也是指针类型），因此和调用 pointer 得到的指针不同，它们没有 contents 属性。直接通过 value 属性，即可转成 Python 中的对象。

图片 函数

最后看一下如何在 Python 中表示 C 的函数，首先 C 的函数可以有多个参数，但只有一个返回值。举个栗子：

```
long add(long *a, long *b) {
    return *a + *b;
}
```

该函数接收两个 long *、返回一个 long，那么这种函数类型要如何表示呢？答案是通过 ctypes.CFUNCTYPE。

```
from ctypes import *

#第一个参数是函数的返回值类型，后面是函数的参数类型
#参数有多少写多少，没有关系，但是返回值只能有一个
#比如这里的函数返回一个 long，接收两个 long *，所以就是
t = CFUNCTYPE(c_long, POINTER(c_long), POINTER(c_long))
#如果函数不需要返回值，那么写一个 None 即可
#然后得到一个类型 t
#此时的类型 t 就等同于 C 的 typedef long (*t)(long*, long*);
```

```
10
11 #定义一个 Python 函数
12 #a、b 为 long *，返回值为 c_long
13 def add(a, b):
14     return a.contents.value + b.contents.value
15 #将我们自定义的函数传进去，就得到了 C 的函数
16 c_add = t(add)
17 #C实现的函数对应的类型在底层是 PyCFunction_Type 类型
18 print(c_add)  # <CFunctionType object at 0x7fa52fa29040>
19 print(
20     c_add(pointer(c_long(22)),
21           pointer(c_long(33)))
22 )  # 55
```

以上就是 C 中常见的数据结构，然后再说一下类型转换，ctypes 提供了一个 cast 函数，可以将指针的类型进行转换。

```
1 from ctypes import *
2
3 #cast 的第一个参数接收的必须是某种 ctypes 对象的指针
4 #第二个参数是 ctypes 指针类型
5 #这里相当于将 long * 转成了 float *
6 p1 = pointer(c_long(123))
7 p2 = cast(p1, POINTER(c_float))
8 print(p2)  # <__main__.LP_c_float object at 0x7f91be201dc0>
9 print(p2.contents)  # c_float(1.723597111119525e-43)
```

指针在转换之后，还是引用相同的内存块，所以整型指针转成浮点型指针之后，打印的结果乱七八糟。当然数组也可以转化，我们举个栗子：

```
1 from ctypes import *
2
3 t1 = (c_int * 3)(1, 2, 3)
4 # 将 int * 转成 long long *
5 t2 = cast(t1, POINTER(c_longlong))
6 print(t2[0])  # 8589934593
7
```

原来数组元素是 int 类型（4 字节），现在转成了 long long（8 字节），但是内存块并没有变。因此 t2 获取元素时会一次性获取 8 字节，所以 t1[0] 和 t1[1] 组合起来等价于 t2[0]。

```
1 from ctypes import *
2
3 t1 = (c_int * 3)(1, 2, 3)
4 t2 = cast(t1, POINTER(c_long))
5 print(t2[0])  # 8589934593
6 #将32位整数1 和 32位整数2 组合起来，当成一个 64 位整数
7 print((2 << 32) + 1)  # 8589934593
```

到此，关于 ctypes 相关的知识就介绍完毕了，下面我们就要改造 Python 虚拟机了。

模拟底层数据结构，观察运行时表现

Python 的对象本质上就是 C 的 malloc 函数为结构体实例在堆区申请的一块内存，比如整数是 PyLongObject、浮点数是 PyFloatObject、列表是 PyListObject，以及所有的类型都是 PyTypeObject 等等。

在介绍完 ctypes 的基本用法之后，下面就来构造这些数据结构来观察 Python 对象在运行时的表现。

这里先说浮点数，因为浮点数比整数要简单，先来看看底层的定义。

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    double ob_fval;
} PyFloatObject;
```

除了 PyObject 这个公共的头部信息之外，只有一个额外的 ob_fval，用于存储具体的值，而且直接使用 C 的 double。

```
from ctypes import *


class PyObject(Structure):
    #PyObject，所有对象底层都会有这个结构体
    _fields_ = [
        ("ob_refcnt", c_ssize_t),
        # 类型对象一会说，这里就先用 void * 模拟
        ("ob_type", c_void_p)
    ]


class PyFloatObject(PyObject):
    #定义 PyFloatObject，继承 PyObject
    _fields_ = [
        ("ob_fval", c_double)
    ]


# 创建一个浮点数
f = 3.14
# 构造 PyFloatObject，可以通过对象的地址进行构造
# float_obj 就是 f 在底层的表现形式
float_obj = PyFloatObject.from_address(id(f))
print(float_obj.ob_fval)  # 3.14

# 修改一下
print(
    f"f = {f}, id(f) = {id(f)}"
)  # f = 3.14, id(f) = 140625653765296
float_obj.ob_fval = 1.73
print(
    f"f = {f}, id(f) = {id(f)}"
)  # f = 1.73, id(f) = 140625653765296
```

我们修改 float_obj.ob_fval 也会影响 f，并且修改前后 f 的地址没有发生改变。同时我们也可以观察一个对象的引用计数，举个栗子：

```
f = 3.14
float_obj = PyFloatObject.from_address(id(f))
# 此时 3.14 这个浮点数对象被 3 个变量所引用
print(float_obj.ob_refcnt)  # 3
# 再来一个
```

```
f2 = f
print(float_obj.ob_refcnt)  # 4
f3 = f
print(float_obj.ob_refcnt)  # 5

# 删除变量
del f2, f3
print(float_obj.ob_refcnt)  # 3
```

所以这就是引用计数机制，当对象被引用，引用计数加 1；当引用该对象的变量被删除，引用计数减 1；当对象的引用计数为 0 时，对象被销毁。

再来看看整数，我们知道 Python 中的整数是不会溢出的，换句话说，它可以计算无穷大的数。那么问题来了，它是怎么办到的呢？想要知道答案，只需看底层的结构体定义即可。

```
typedef struct {
    PyObject_VAR_HEAD
    // digit 等价于 unsigned int
    digit ob_digit[1];
} PyLongObject;
```

明白了，原来 Python 的整数在底层是用数组存储的，通过串联多个无符号 32 位整数来表示更大的数。

```
from ctypes import *


class PyVarObject(Structure):
    _fields_ = [
        ("ob_refcnt", c_ssize_t),
        ("ob_type", c_void_p),
        ("ob_size", c_ssize_t)
    ]


class PyLongObject(PyVarObject):
    _fields_ = [
        ("ob_digit", (c_uint32 * 1))
    ]


num = 1024
long_obj = PyLongObject.from_address(id(num))
print(long_obj.ob_digit[0])  # 1024
# PyLongObject 的 ob_size 表示 ob_digit 数组的长度
# 此时显然为 1
print(long_obj.ob_size)  # 1

# 但是在介绍整型的时候说过
# ob_size 还可以表示整数的符号
# 我们将 ob_size 改成 -1，再打印 num
long_obj.ob_size = -1
print(num)  # -1024
# 我们悄悄地将 num 改成了负数
```

当然我们也可以修改值：

```
num = 1024
long_obj = PyLongObject.from_address(id(num))
long_obj.ob_digit[0] = 4096
print(num)  # 4096
```

digit 是 32 位无符号整型，不过虽然占 32 个位，但是只用 30 个位，这也意味着一个 digit 能存储的最大整数就是 2 的 30 次方减 1。如果数值再大一些，那么就需要两个 digit 来存储，第二个 digit 的最低位从 31 开始。

```
# 此时一个 digit 能够存储的下，所以 ob_size 为 1
num1 = 2 ** 30 - 1
long_obj1 = PyLongObject.from_address(id(num1))
print(long_obj1.ob_size)  # 1

# 此时一个 digit 存不下了，所以需要两个 digit，因此 ob_size 为 2
num2 = 2 ** 30
long_obj2 = PyLongObject.from_address(id(num2))
print(long_obj2.ob_size)  # 2
```

当然了，用整数数组实现大整数的思路其实平白无奇，但难点在于大整数 数学运算 的实现，它们才是重点，也是也比较考验编程功底的地方。

字节串就是 Python 的 bytes 对象，在存储或网络通讯时，传输的都是字节串。bytes 对象在底层的结构体为 PyBytesObject，看一下相关定义。

```
typedef struct {
    PyObject_VAR_HEAD
    Py_hash_t ob_shash;
    char ob_sval[1];
} PyBytesObject;
```

解释一下里面每个成员的含义，其实在分析 bytes 对象的时候说的很详细了，这里再重复一遍：

- **PyObject_VAR_HEAD：变长对象的公共头部；**
- **ob_shash：保存该字节序列的哈希值，之所以选择保存是因为在很多场景都需要 bytes 对象的哈希值。而 Python 在计算字节序列的哈希值的时候，需要遍历每一个字节，因此开销比较大。所以会提前计算一次并保存起来，这样以后就不需要算了，可以直接拿来用，并且 bytes 对象是不可变的，所以哈希值是不变的；**
- **ob_sval：这个和 PyLongObject 中的 ob_digit 的声明方式是类似的，虽然声明的时候长度是 1，但具体是多少则取决于 bytes 对象的字节数量。这是 C 语言中定义"变长数组"的技巧，虽然写的长度是 1，但是你可以当成 n 来用，n 可取任意值。显然这个 ob_sval 存储的是所有的字节，因此 Python 中的 bytes 对象在底层是通过字符数组存储的。而且数组会多申请一个空间，用于存储 \0，因为 C 是通过 \0 来表示一个字符数组的结束，但是计算 ob_size 的时候不包括 \0；**

```
from ctypes import *


class PyVarObject(Structure):
    _fields_ = [
        ("ob_refcnt", c_ssize_t),
        ("ob_type", c_void_p),
        ("ob_size", c_ssize_t)
    ]


class PyBytesObject(PyVarObject):
    _fields_ = [
        ("ob_shash", c_ssize_t),
        # 这里我们就将长度声明为 100
        ("ob_sval", (c_char * 100))
    ]


b = b"hello"
bytes_obj = PyBytesObject.from_address(id(b))
```

```
# 长度
print(bytes_obj.ob_size, len(b))  # 5 5
# 哈希值
print(bytes_obj.ob_shash)  # 967846336661272849
print(hash(b))  # 967846336661272849

# 修改哈希值，再调用 hash 函数会发现结果变了
# 说明 hash(b) 会直接获取底层已经计算好的 ob_shash 字段的值
bytes_obj.ob_shash = 666
print(hash(b))  # 666

# 修改 ob_sval
bytes_obj.ob_sval = b"hello world"
print(b)  # b'hello'

# 我们看到打印的依旧是 "hello"
# 原因是 ob_size 为 5，只会选择前 5 个字节
# 修改之后再次打印
bytes_obj.ob_size = 11
print(b)  # b'hello world'
bytes_obj.ob_size = 15
# 用 \0 填充
print(b)  # b'hello world\x00\x00\x00\x00'
```

除了 bytes 对象之外，Python 还有一个 bytearray 对象，它和 bytes 对象类似，只不过 bytes 对象是不可变的，而 bytearray 对象是可变的。

列表可以说使用的非常广泛了，在初学列表的时候，有人会告诉你列表就是一个大仓库，什么都可以存放。但我们知道，列表中存放的元素其实都是泛型指针 PyObject *。

看看列表的底层结构：

```
typedef struct {
    PyObject_VAR_HEAD
    PyObject **ob_item;
    Py_ssize_t allocated;
} PyListObject;
```

我们看到里面有如下成员：

- **PyObject_VAR_HEAD：变长对象的公共头部信息；**
- **ob_item：一个二级指针，指向一个 PyObject * 类型的指针数组，这个指针数组保存的便是对象的指针，而操作底层数组都是通过 ob_item 来进行操作的；**
- **allocated：容量，我们知道列表底层是使用了 C 的数组，而底层数组的长度就是列表的容量；**

```
from ctypes import *


class PyVarObject(Structure):
    _fields_ = [
        ("ob_refcnt", c_ssize_t),
        ("ob_type", c_void_p),
        ("ob_size", c_ssize_t)
    ]


class PyListObject(PyVarObject):
    _fields_ = [
        # ctypes 下面有一个 py_object 类，它等价于底层的 PyObject *
        # 但 ob_item 类型为 PyObject **
```

```
        # 所以这里类型声明为 POINTER(py_object)
        ("ob_item", POINTER(py_object)),
        ("allocated", c_ssize_t)
    ]


lst = [1, 2, 3, 4, 5]
list_obj = PyListObject.from_address(id(lst))
# 列表在计算长度的时候，会直接获取 ob_size 成员的值
# 对元素进行增加、删除，ob_size 也会动态变化
# 因为该值负责维护列表的长度
print(list_obj.ob_size)  # 5
print(len(lst))  # 5

# 修改 ob_size 为 2，打印列表只会显示两个元素
list_obj.ob_size = 2
print(lst)  # [1, 2]
try:
    lst[2]  # 访问索引为 2 的元素会越界
except IndexError as e:
    print(e)  # list index out of range

# 修改元素，由于 ob_item 里面的元素是 PyObject *
# 所以这里需要调用 py_object 显式转一下
list_obj.ob_item[0] = py_object("🍺")
print(lst)  # ['🍺', 2]
```

下面来看看元组，我们可以把元组看成是不支持元素添加、修改、删除等操作的列表。元组的实现机制非常简单，可以看做是在列表的基础上丢弃了增删改等操作。

```
typedef struct {
    PyObject_VAR_HEAD
    PyObject *ob_item[1];
} PyTupleObject;
```

元组的底层结构体定义也非常简单，一个引用计数、一个类型、一个指针数组。数组里面的 1 可以想象成 n，我们上面说过它的含义。并且我们发现不像列表，元组没有 allocated，这是因为它是不可变的，不支持扩容操作。

```
from ctypes import *


class PyVarObject(Structure):
    _fields_ = [
        ("ob_refcnt", c_ssize_t),
        ("ob_type", c_void_p),
        ("ob_size", c_ssize_t)
    ]


class PyTupleObject(PyVarObject):
    _fields_ = [
        # 这里我们假设里面可以存 10 个元素
        ("ob_item", (py_object * 10)),
    ]


tpl = (11, 22, 33)
tuple_obj = PyTupleObject.from_address(id(tpl))
print(tuple_obj.ob_size)  # 3
```

```
print(len(tpl))  # 3

# 修改元组内的元素
print(f"修改前:id(tpl) = {id(tpl)}, tpl = {tpl}")
tuple_obj.ob_item[0] = py_object("")
print(f"修改后:id(tpl) = {id(tpl)}, tpl = {tpl}")
"""
修改前:id(tpl) = 140570376749888, tpl = (11, 22, 33)
修改后:id(tpl) = 140570376749888, tpl = ('', 22, 33)
"""
```

此时我们就成功修改了元组里面的元素，并且修改前后元组的地址没有改变。

> 要是以后谁跟你说 Python 元组里的元素不能修改，就拿这个例子堵他嘴。好吧，元组就是不可变的，举这个例子有点不太合适。

给类对象增加属性

我们知道类对象是有自己的属性字典的，但这个字典不允许修改，因为准确来说它不是字典，而是一个 mappingproxy 对象。

```
print(str.__dict__.__class__)  # <class 'mappingproxy'>

try:
    str.__dict__["嘿"] = "蛤"
except Exception as e:
    print(e)
# 'mappingproxy' object does not support item assignment
```

我们无法通过修改 mappingproxy 对象来给类增加属性，因为它不支持增加、修改以及删除操作。当然对于自定义的类可以通过 setattr 方法实现，但是内置的类是行不通的，内置的类无法通过 setattr 进行属性添加。

因此如果想给内置的类增加属性，只能通过 mappingproxy 入手，我们看一下它的底层结构。

```
typedef struct {
    PyObject_HEAD
    PyObject *mapping;
} mappingproxyobject;

static Py_ssize_t
mappingproxy_len(mappingproxyobject *pp)
{
    return PyObject_Size(pp->mapping);
}

static PyObject *
mappingproxy_getitem(mappingproxyobject *pp, PyObject *key)
{
    return PyObject_GetItem(pp->mapping, key);
}
```


所谓的 mappingproxy 就是对字典包了一层，并只提供了查询功能。而且从函数 mappingproxy_len 和 mappingproxy_getitem 可以看出，mappingproxy 对象的长度就是内部字典的长度，获取 mappingproxy 对象的元素实际上就是获取内部字典的元素，因此操作 mappingproxy 对象就等价于操作其内部的字典。

所以我们只要能拿到 mappingproxy 对象内部的字典，那么可以直接操作字典来修改类属性。而 Python 有一个模块叫 gc，它可以帮我们实现这一点，举个栗子：

```
import gc
```

```
2
3  tpl = ("hello", 123, "")
4  # gc.get_referents(obj) 返回所有被 obj 引用的对象
5  # 以列表的形式返回
6  print(gc.get_referents(tpl))  # ['', 123, 'hello']
7  # 显然 tpl 引用的就是内部的三个元素
8
9  # 此外还有 gc.get_referrers(obj)，它是返回所有引用了 obj 的对象
```

那么问题来了，你觉得 mappingproxy 对象引用了谁呢？显然就是内部的字典。

```
1  import gc
2
3  # str.__dict__ 是一个 mappingproxy 对象
4  # 这里拿到其内部的字典
5  d = gc.get_referents(str.__dict__)[0]
6  # 随便增加一个属性
7  d["嘿"] = "蛤"
8  print(str.嘿)  # 蛤
9  print("嘿".嘿)  # 蛤
10
11 # 当然我们也可以增加一个函数，记得要有一个 self 参数
12 d["smile"] = lambda self: self + ""
13 print("微笑".smile())  # 微笑
14 print(str.smile("微笑"))  # 微笑
```

但是需要注意的是，我们上面添加的是之前没有的新属性，如果是覆盖一个已经存在的属性或者函数，那么还缺一步。

```
1  from ctypes import *
2  import gc
3
4  s = "hello world"
5  print(s.split())  # ['hello', 'world']
6
7  d = gc.get_referents(str.__dict__)[0]
8  # 覆盖 split 函数
9  d["split"] = lambda self, *args: "我被 split 了"
10 # 这里需要调用 pythonapi.PyType_Modified 来更新上面所做的修改
11 # 如果没有这一步，那么是没有效果的
12 # 甚至还会出现丑陋的段错误，使得解释器异常退出
13 pythonapi.PyType_Modified(py_object(str))
14 print(s.split())  # 我被 split 了
```

但是还不够完善，因为函数的名字没有修改，而且覆盖之后原来的名字也找不到了。

```
1  print(s.split.__name__)  # <lambda>
```

函数在修改之后名字就变了，匿名函数的名字就叫 <lambda>，所以我们可以再完善一下。

```
1  from ctypes import *
2  import gc
3
4
5  def patch_builtin_class(cls, name, value):
6      """
7      :param cls: 要修改的类
8      :param name: 属性名或者函数名
9      :param value: 值
10     :return:
11     """
12     if type(cls) is not type:
13         raise ValueError("cls 必须是一个类对象")
14     # 获取 cls.__dict__ 内部的字典
```

```
    cls_attrs = gc.get_referents(cls.__dict__)[0]
    # 如果该属性或函数不存在，结果为 None
    # 否则将值取出来，赋值给 old_value
    old_value = cls_attrs.get(name, None)
    # 将 name、value 组合起来放到 cls_attrs 中
    # 为 cls 这个类添砖加瓦
    cls_attrs[name] = value

    # 如果 old_value 为 None，说明我们添加了一个新的属性或函数
    # 如果 old_value 不为 None，说明我们覆盖了一个已存在的属性或函数
    if old_value is not None:
        try:
            # 将原来函数的 __name__、__qualname__ 赋值给新的函数
            # 如果不是函数，而是普通属性
            # 那么会因为没有 __name__ 而抛出 AttributeError
            # 这里我们直接 pass 掉即可，无需关心
            value.__name__ = old_value.__name__
            value.__qualname__ = old_value.__qualname__
        except AttributeError:
            pass
        # 但是原来的属性或函数最好也不要丢弃，我们可以改一个名字
        # 假设我们修改 split 函数，那么修改之后
        # 原来的 split 就需要通过 _str_split 进行调用
        cls_attrs[f"_{cls.__name__}_{name}"] = old_value

    # 不要忘了最关键的一步
    pythonapi.PyType_Modified(py_object(cls))


s = "hello world"
print(s.title())  # Hello World
# 修改内置属性
patch_builtin_class(str, "title", lambda self: "我单词首字母大写了")
print(s.title())  # 我单词首字母大写了
print(s.title.__name__)  # title
# 而原来的 title 则需要通过 _str_title 进行调用
print(s._str_title())  # Hello World
```

是不是很好玩呢？很明显，我们不仅可以修改 str，任意的内置的类都是可以修改的。

```
lst = [1, 2, 3]
# 将 append 函数换成 pop 函数
patch_builtin_class(list, "append", lambda self: list.pop(self))
# 我们知道 append 需要接收一个参数
# 但这里我们不需要传，因为函数已经被换掉了
lst.append()
print(lst)  # [1, 2]
# 而原来的 append 函数，则需要通过 _list_append 进行调用
lst._list_append(666)
print(lst)  # [1, 2, 666]
```

我们还可以添加一个类方法或静态方法：

```
patch_builtin_class(
    list,
    "new",
    classmethod(lambda cls, n: list(range(n)))
)
print(list.new(5))  # [0, 1, 2, 3, 4]
```

还是很有趣的，但需要注意的是，我们目前的 patch_builtin_class 只能为类添加属性或函数。但其 "实例对象" 使用操作符时的表现是无法操控的。什么意思呢？我们举个栗子：

```python
a, b = 3, 4
# 每一个操作背后都被抽象成了一个魔法方法
print(int.__add__(a, b))  # 7
print(a.__add__(b))  # 7
print(a + b)  # 7

# 重写 __add__
patch_builtin_class(int, "__add__", lambda self, other: self * other)
print(int.__add__(a, b))  # 12
print(a.__add__(b))  # 12
print(a + b)  # 7
```

我们看到重写了 __add__ 之后，直接调用魔法方法的话是没有问题的，打印的是重写之后的结果。而使用操作符 + 时，却没有走我们重写之后的 __add__，所以 a + b 的结果还是 7。

```python
s1, s2 = "hello", "world"
patch_builtin_class(str,
                    "__sub__",
                    lambda self, other: (self, other))
print(s1.__sub__(s2))
# ('hello', 'world')

try:
    s1 - s2
except TypeError as e:
    print(e)
# unsupported operand type(s) for -: 'str' and 'str'
```

我们重写了 __sub__ 之后，直接调用魔法方法的话也是没有问题的，但是用操作符的方式就会报错，告诉我们字符串不支持减法操作，但明明实现了 __sub__ 方法啊。

我们知道类型对象有三个操作簇：

```c
typedef struct _typeobject {
    PyObject_VAR_HEAD
    const char *tp_name;
    Py_ssize_t tp_basicsize, tp_itemsize;

    destructor tp_dealloc;
    Py_ssize_t tp_vectorcall_offset;
    getattrfunc tp_getattr;
    setattrfunc tp_setattr;
    PyAsyncMethods *tp_as_async;
    reprfunc tp_repr;

    PyNumberMethods *tp_as_number;
    PySequenceMethods *tp_as_sequence;
    PyMappingMethods *tp_as_mapping;

    /* More standard operations (here for bin
```


- **tp_as_number：对象为数值时，所支持的操作；**
- **tp_as_sequence：对象为序列时，所支持的操作；**
- **tp_as_mapping：对象为映射时，所支持的操作；**

它们都是结构体指针，指向的结构体中的每一个成员都是一个函数指针，指向的函数便是实例对象可执行的操作。以 int 类型为例：

```c
typedef struct {
    //整数支持的操作
```

```
    //比如 1 + 2 就会调用这里的 nb_add
    binaryfunc nb_add;          // __add__
    binaryfunc nb_subtract;     // __sub__
    binaryfunc nb_multiply;     // __mul__
    binaryfunc nb_remainder;
    binaryfunc nb_divmod;
    ternaryfunc nb_power;
    unaryfunc nb_negative;
    unaryfunc nb_positive;
    unaryfunc nb_absolute;
    inquiry nb_bool;
    unaryfunc nb_invert;
    binaryfunc nb_lshift;
    binaryfunc nb_rshift;
    binaryfunc nb_and;
    binaryfunc nb_xor;
    binaryfunc nb_or;
    unaryfunc nb_int;
    void *nb_reserved;
    unaryfunc nb_float;
```


int在底层对应PyLong_Type，它的tp_as_number成员被初始化为&long_as_number，我们来看一下。

```
static PyNumberMethods long_as_number = {
    (binaryfunc)long_add,       /*nb_add*/
    (binaryfunc)long_sub,       /*nb_subtract*/
    (binaryfunc)long_mul,       /*nb_multiply*/
    long_mod,                   /*nb_remainder*/
    long_divmod,                /*nb_divmod*/
    long_pow,                   /*nb_power*/
    (unaryfunc)long_neg,        /*nb_negative*/
    long_long,                  /*tp_positive*/
    (unaryfunc)long_abs,        /*tp_absolute*/
    (inquiry)long_bool,         /*tp_bool*/
    (unaryfunc)long_invert,     /*nb_invert*/
    long_lshift,                /*nb_lshift*/
    long_rshift,                /*nb_rshift*/
    long_and,                   /*nb_and*/
    long_xor,                   /*nb_xor*/
    long_or,                    /*nb_or*/
    long_long,                  /*nb_int*/
    0,                          /*nb_reserved*/
    long_float,                 /*nb_float*/
    0                           /* nb_inplace_add
```


因此 PyNumberMethods 的成员就是整数所有拥有的魔法方法，当然也包括浮点数。

而我们若想改变操作符的表现行为，我们需要修改的是 **tp_as_*** 里面的成员的值，而不是简单的修改属性字典。比如我们想修改 a + b 的表现行为，那么就将类对象的 tp_as_number 里面的 nb_add 给改掉。

修改方式也很简单，如果是整形，那么就覆盖掉 long_add，也就是 **PyLong_Type -> long_as_number -> nb_add**；同理，如果是浮点型，那么就覆盖掉 float_add，也就是 **PyFloat_Type -> float_as_number -> nb_add**。

重载操作符

> 先说明一下，我们这里针对的都是内置的类。如果是自定义的类，那么利用 Python 动态特性就足够了。

类对象有 4 个方法簇，分别是 tp_as_number, tp_as_sequence, tp_as_mapping, tp_as_async。这个 tp_as_async 我们没有说，它是和协程有关的，暂时不需要管。如果我们想改变操作符的表现结果，那么就重写里面对应的函数即可。

```
from ctypes import *
import gc


# 将这些对象提前声明好，之后再进行成员的初始化
class PyObject(Structure): pass


class PyTypeObject(Structure): pass


class PyNumberMethods(Structure): pass


class PySequenceMethods(Structure): pass


class PyMappingMethods(Structure): pass


class PyAsyncMethods(Structure): pass


class PyFile(Structure): pass


PyObject._fields_ = [("ob_refcnt", c_ssize_t),
                     ("ob_type", POINTER(PyTypeObject))]

PyTypeObject._fields_ = [
    ('ob_base', PyObject),
    ('ob_size', c_ssize_t),
    ('tp_name', c_char_p),
    ('tp_basicsize', c_ssize_t),
    ('tp_itemsize', c_ssize_t),
    ('tp_dealloc', CFUNCTYPE(None, py_object)),
    ('printfunc', CFUNCTYPE(c_int, py_object, POINTER(PyFile), c_int)),
    ('getattrfunc', CFUNCTYPE(py_object, py_object, c_char_p)),
    ('setattrfunc', CFUNCTYPE(c_int, py_object, c_char_p, py_object)),
    ('tp_as_async', CFUNCTYPE(PyAsyncMethods)),
    ('tp_repr', CFUNCTYPE(py_object, py_object)),
    ('tp_as_number', POINTER(PyNumberMethods)),
    ('tp_as_sequence', POINTER(PySequenceMethods)),
    ('tp_as_mapping', POINTER(PyMappingMethods)),
    ('tp_hash', CFUNCTYPE(c_int64, py_object)),
    ('tp_call', CFUNCTYPE(py_object, py_object, py_object, py_object)),
    ('tp_str', CFUNCTYPE(py_object, py_object)),
    # 不需要的可以不用写
]
```

```
50
51  # 方法集就是一个结构体实例, 结构体成员都是函数指针
52  # 所以这里我们要将相关的函数类型声明好
53  inquiry = CFUNCTYPE(c_int, py_object)
54  unaryfunc = CFUNCTYPE(py_object, py_object)
55  binaryfunc = CFUNCTYPE(py_object, py_object, py_object)
56  ternaryfunc = CFUNCTYPE(py_object, py_object, py_object, py_object)
57  lenfunc = CFUNCTYPE(c_ssize_t, py_object)
58  ssizeargfunc = CFUNCTYPE(py_object, py_object, c_ssize_t)
59  ssizeobjargproc = CFUNCTYPE(c_int, py_object, c_ssize_t, py_object)
60  objobjproc = CFUNCTYPE(c_int, py_object, py_object)
61  objobjargproc = CFUNCTYPE(c_int, py_object, py_object, py_object)
62
63  PyNumberMethods._fields_ = [
64      ('nb_add', binaryfunc),
65      ('nb_subtract', binaryfunc),
66      ('nb_multiply', binaryfunc),
67      ('nb_remainder', binaryfunc),
68      ('nb_divmod', binaryfunc),
69      ('nb_power', ternaryfunc),
70      ('nb_negative', unaryfunc),
71      ('nb_positive', unaryfunc),
72      ('nb_absolute', unaryfunc),
73      ('nb_bool', inquiry),
74      ('nb_invert', unaryfunc),
75      ('nb_lshift', binaryfunc),
76      ('nb_rshift', binaryfunc),
77      ('nb_and', binaryfunc),
78      ('nb_xor', binaryfunc),
79      ('nb_or', binaryfunc),
80      ('nb_int', unaryfunc),
81      ('nb_reserved', c_void_p),
82      ('nb_float', unaryfunc),
83      ('nb_inplace_add', binaryfunc),
84      ('nb_inplace_subtract', binaryfunc),
85      ('nb_inplace_multiply', binaryfunc),
86      ('nb_inplace_remainder', binaryfunc),
87      ('nb_inplace_power', ternaryfunc),
88      ('nb_inplace_lshift', binaryfunc),
89      ('nb_inplace_rshift', binaryfunc),
90      ('nb_inplace_and', binaryfunc),
91      ('nb_inplace_xor', binaryfunc),
92      ('nb_inplace_or', binaryfunc),
93      ('nb_floor_divide', binaryfunc),
94      ('nb_true_divide', binaryfunc),
95      ('nb_inplace_floor_divide', binaryfunc),
96      ('nb_inplace_true_divide', binaryfunc),
97      ('nb_index', unaryfunc),
98      ('nb_matrix_multiply', binaryfunc),
99      ('nb_inplace_matrix_multiply', binaryfunc)]
100
101 PySequenceMethods._fields_ = [
102     ('sq_length', lenfunc),
103     ('sq_concat', binaryfunc),
104     ('sq_repeat', ssizeargfunc),
105     ('sq_item', ssizeargfunc),
106     ('was_sq_slice', c_void_p),
107     ('sq_ass_item', ssizeobjargproc),
108     ('was_sq_ass_slice', c_void_p),
109     ('sq_contains', objobjproc),
110     ('sq_inplace_concat', binaryfunc),
111     ('sq_inplace_repeat', ssizeargfunc)]
112
113 # 将这些魔法方法的名字和底层的结构体成员组合起来
```

```
magic_method_dict = {
    "__add__": ("tp_as_number", "nb_add"),
    "__sub__": ("tp_as_number", "nb_subtract"),
    "__mul__": ("tp_as_number", "nb_multiply"),
    "__mod__": ("tp_as_number", "nb_remainder"),
    "__pow__": ("tp_as_number", "nb_power"),
    "__neg__": ("tp_as_number", "nb_negative"),
    "__pos__": ("tp_as_number", "nb_positive"),
    "__abs__": ("tp_as_number", "nb_absolute"),
    "__bool__": ("tp_as_number", "nb_bool"),
    "__inv__": ("tp_as_number", "nb_invert"),
    "__invert__": ("tp_as_number", "nb_invert"),
    "__lshift__": ("tp_as_number", "nb_lshift"),
    "__rshift__": ("tp_as_number", "nb_rshift"),
    "__and__": ("tp_as_number", "nb_and"),
    "__xor__": ("tp_as_number", "nb_xor"),
    "__or__": ("tp_as_number", "nb_or"),
    "__int__": ("tp_as_number", "nb_int"),
    "__float__": ("tp_as_number", "nb_float"),
    "__iadd__": ("tp_as_number", "nb_inplace_add"),
    "__isub__": ("tp_as_number", "nb_inplace_subtract"),
    "__imul__": ("tp_as_number", "nb_inplace_multiply"),
    "__imod__": ("tp_as_number", "nb_inplace_remainder"),
    "__ipow__": ("tp_as_number", "nb_inplace_power"),
    "__ilshift__": ("tp_as_number", "nb_inplace_lshift"),
    "__irshift__": ("tp_as_number", "nb_inplace_rshift"),
    "__iand__": ("tp_as_number", "nb_inplace_and"),
    "__ixor__": ("tp_as_number", "nb_inplace_xor"),
    "__ior__": ("tp_as_number", "nb_inplace_or"),
    "__floordiv__": ("tp_as_number", "nb_floor_divide"),
    "__div__": ("tp_as_number", "nb_true_divide"),
    "__ifloordiv__": ("tp_as_number", "nb_inplace_floor_divide"),
    "__idiv__": ("tp_as_number", "nb_inplace_true_divide"),
    "__index__": ("tp_as_number", "nb_index"),
    "__matmul__": ("tp_as_number", "nb_matrix_multiply"),
    "__imatmul__": ("tp_as_number", "nb_inplace_matrix_multiply"),

    "__len__": ("tp_as_sequence", "sq_length"),
    "__concat__": ("tp_as_sequence", "sq_concat"),
    "__repeat__": ("tp_as_sequence", "sq_repeat"),
    "__getitem__": ("tp_as_sequence", "sq_item"),
    "__setitem__": ("tp_as_sequence", "sq_ass_item"),
    "__contains__": ("tp_as_sequence", "sq_contains"),
    "__iconcat__": ("tp_as_sequence", "sq_inplace_concat"),
    "__irepeat__": ("tp_as_sequence", "sq_inplace_repeat")
}
keep_method_alive = {}
keep_method_set_alive = {}


# 以上就准备就绪了
# 下面再将之前的 patch_builtin_class 函数补充一下即可
def patch_builtin_class(cls, name, value):
    """
    :param cls: 要修改的类
    :param name: 属性名或者函数名
    :param value: 值
    :return:
    """
    if type(cls) is not type:
        raise ValueError("cls 必须是一个类对象")
    cls_attrs = gc.get_referents(cls.__dict__)[0]
    old_value = cls_attrs.get(name, None)
    cls_attrs[name] = value
```

```
    if old_value is not None:
        try:
            value.__name__ = old_value.__name__
            value.__qualname__ = old_value.__qualname__
        except AttributeError:
            pass
        cls_attrs[f"_{cls.__name__}_{name}"] = old_value
    pythonapi.PyType_Modified(py_object(cls))
    # 以上逻辑不变，然后对参数 name 进行检测
    # 如果是魔方方法、并且 value 是一个可调用对象，那么修改操作符
    # 否则直接 return
    if not (name in magic_method_dict and callable(value)):
        return
    # 比如 name 是 __sub__
    # 那么 tp_as_name, rewrite == "tp_as_number", "nb_sub"
    tp_as_name, rewrite = magic_method_dict[name]
    # 获取类对应的底层结构，PyTypeObject 实例
    type_obj = PyTypeObject.from_address(id(cls))
    # 根据 tp_as_name 判断到底是哪一个方法集
    # 这里我们没有实现 tp_as_mapping 和 tp_as_async
    # 有兴趣可以自己实现一下
    struct_method_set_class = (
        PyNumberMethods if tp_as_name == "tp_as_number"
        else PySequenceMethods if tp_as_name == "tp_as_sequence"
        else PyMappingMethods if tp_as_name == "tp_as_mapping"
        else PyAsyncMethods)

    # 获取具体的方法集（指针）
    struct_method_set_ptr = getattr(type_obj, tp_as_name, None)
    if not struct_method_set_ptr:
        # 如果不存在此方法集，我们实例化一个，然后设置到里面去
        struct_method_set = struct_method_set_class()
        # 注意我们要传一个指针进去
        setattr(type_obj, tp_as_name, pointer(struct_method_set))
    # 然后对指针进行解引用，获取方法集，也就是对应的结构体实例
    struct_method_set = struct_method_set_ptr.contents
    # 遍历 struct_method_set_class，判断到底重写的是哪一个魔法方法
    cfunc_type = None
    for field, ftype in struct_method_set_class._fields_:
        if field == rewrite:
            cfunc_type = ftype
    # 构造新的函数
    cfunc = cfunc_type(value)
    # 更新方法集
    setattr(struct_method_set, rewrite, cfunc)
    # 至此我们的功能就完成了，但还有一个非常重要的点，就是上面的 cfunc
    # 虽然它是一个底层可以识别的 C 函数，但它本质上仍然是一个 Python 对象
    # 其内部维护了 C 级数据，赋值之后底层会自动提取，而这一步不会增加引用计数
    # 所以这个函数结束之后，cfunc 就被销毁了（连同内部的 C 级数据）
    # 这样后续再调用相关操作符的时候就会出现段错误，解释器异常退出
    # 因此我们需要在函数结束之前创建一个在外部持有它的引用
    keep_method_alive[(cls, name)] = cfunc
    # 当然还有我们上面的方法集，也是同理
    keep_method_set_alive[(cls, name)] = struct_method_set

```

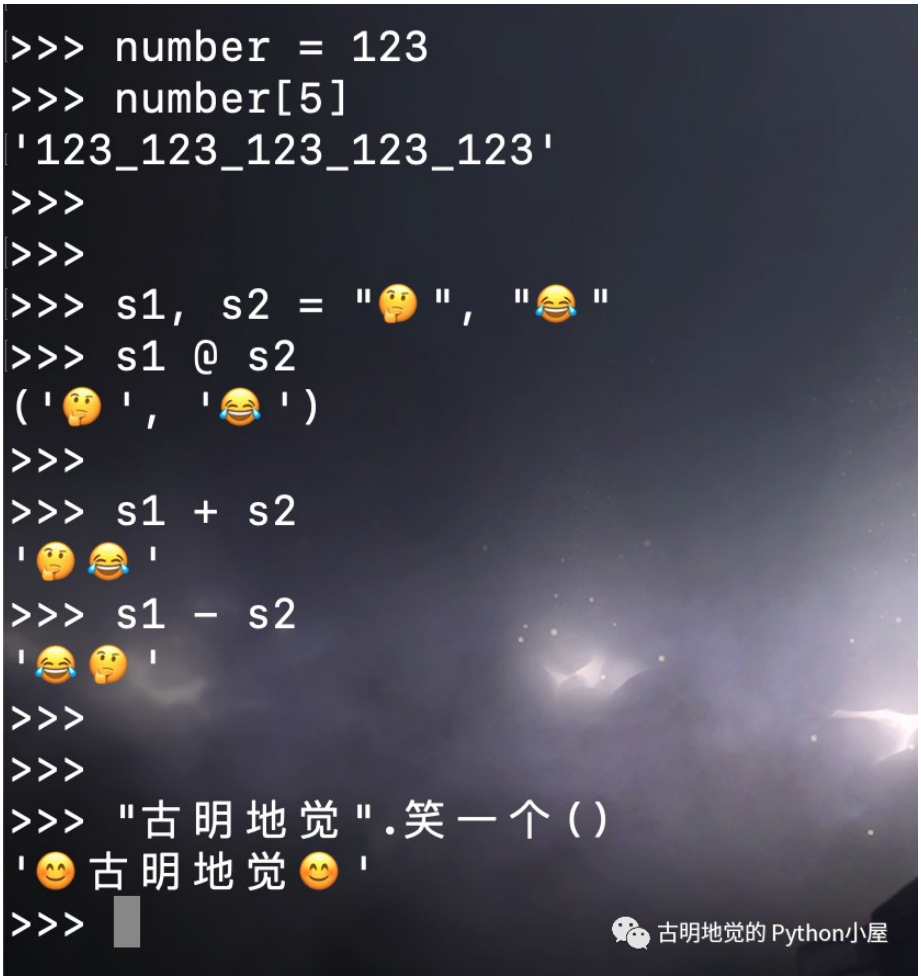
代码量还是稍微有点多的，但是不难理解，我们将这些代码放在一个单独的文件里面，文件名就叫unsafe_magic.py，然后导入它。

```
from unsafe_magic import patch_builtin_class


# 重载 [] 操作符
patch_builtin_class(int,
```

```
                    "__getitem__",
                    lambda self, item: "_".join([str(self)] * item))
# 重载 @ 操作符
patch_builtin_class(str,
                    "__matmul__",
                    lambda self, other: (self, other))
# 重载 - 操作符
patch_builtin_class(str,
                    "__sub__",
                    lambda self, other: other + self)
```

你觉得之后会发生什么呢？我们测试一下：



怎么样，是不是很好玩呢？

```
from unsafe_magic import patch_builtin_class

patch_builtin_class(tuple,
                    "append",
                    lambda self, item: self + (item, ))
t = ()
print(t.append(1).append(2).append(3).append(4))
"""
(1, 2, 3, 4)
"""
```

因此 Python 给开发者赋予的权限是非常高的，你可以玩出很多意想不到的新花样。

另外再多说一句，当对象不支持某个操作符的时候，我们能够让它实现该操作符；但如果对象已经实现了某个操作符，那么其逻辑就改不了了，举个栗子：

```
from unsafe_magic import patch_builtin_class

# str 没有 __div__，我们可以为其实现
```

```
# 此时字符串便拥有了除法的功能
patch_builtin_class(str,
                    "__div__",
                    lambda self, other: (self, other))
print("hello" / "world")  # ('hello', 'world')

# 但 __add__ 是 str 本身就有的，也就是说字符串本身就可以相加
# 而此时我们就无法覆盖加法这个操作符了
patch_builtin_class(str,
                    "__add__",
                    lambda self, other: (self, other))
print("你" + "好")  # 你好

# 我们看到使用加号，并没有走我们重写之后的 __add__ 方法
# 因为字符串本身就支持加法运算
# 但也有例外，就是当出现 TypeError 的时候
# 那么解释器会执行我们重写的方法
# 比如字符串和整数相加会出现TypeError，因此解释器会执行我们重写的 __add__
print("你" + 123)  # ('你', 123)
# 但如果是调用魔方方法，那么会直接走我们重写的 __add__，前面说过的
print("你".__add__("好"))  # ('你', '好')
```

不过上述这个问题在 3.6 版本的时候是没有的，操作符会无条件地执行我们重写的魔法方法。但在 3.8 的时候出现了这个现象，可以自己测试一下。

小结

以上我们就用 ctypes 玩了一些骚操作，内容还是有点单调，当然你也可以玩的再嗨一些。但是无论如何，一定不要在生产上使用，线上不要出现这种会改变解释器运行逻辑的代码。如果只是为了调试、或者想从实践的层面更深入地了解虚拟机，那么没事可以玩一玩。

收录于合集 #CPython 97

‹ 上一篇
《源码探秘 CPython》89. 为什么要有协程，协程是如何实现的?

下一篇 ›
《源码探秘 CPython》87. 解密 map、filter、zip 底层实现，对比列表解析式