第一部分:面向对象高级编程(难)

1.1 __slots__

正常情况下，当我们定义了一个class，创建了一个class的实例后，我们可以给该实例绑定任何属性和方法，这就是动态语言的灵活性。先定义class：

```
class Student(object):
    pass
```

然后，尝试给实例绑定一个属性：

```
>>> s = Student()
>>> s.name = 'Michael' # 动态给实例绑定一个属性
>>> print(s.name)
Michael
```

还可以尝试给实例绑定一个方法：

```
>>> def set_age(self, age): # 定义一个函数作为实例方法
...     self.age = age
...
>>> from types import MethodType
>>> s.set_age = MethodType(set_age, s) # 给实例绑定一个方法
>>> s.set_age(25) # 调用实例方法
>>> s.age # 测试结果
25
```

但是，给一个实例绑定的方法，对另一个实例是不起作用的：

```
>>> s2 = Student() # 创建新的实例
>>> s2.set_age(25) # 尝试调用方法
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'Student' object has no attribute 'set_age'
```

为了给所有实例都绑定方法，可以给class绑定方法：

```
>>> def set_score(self, score):
...     self.score = score
...
>>> Student.set_score = set_score
```

给class绑定方法后，所有实例均可调用：

```
>>> s.set_score(100)
>>> s.score
100
>>> s2.set_score(99)
>>> s2.score
99
```

通常情况下，上面的`set_score`方法可以直接定义在class中，但动态绑定允许我们在程序运行的过程中动态给class加上功能，这在静态语言中很难实现。

但是，如果我们想要限制实例的属性怎么办？比如，只允许对Student实例添加`name`和`age`属性。为了达到限制的目的，Python允许在定义class的时候，定义一个特殊的`__slots__`变量，来限制该class实例能添加的属性：

```
class Student(object):
    __slots__ = ('name', 'age') # 用tuple定义允许绑定的属性名称
```

然后，我们试试：

```
>>> s = Student() # 创建新的实例
>>> s.name = 'Michael' # 绑定属性'name'
>>> s.age = 25 # 绑定属性'age'
```

```
>>> s.score = 99 # 绑定属性'score'
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'Student' object has no attribute 'score'
```

由于'score'没有被放到__slots__中，所以不能绑定score属性，试图绑定score将得到AttributeError的错误。

使用__slots__要注意，__slots__定义的属性仅对当前类实例起作用，对继承的子类是不起作用的：

```
>>> class GraduateStudent(Student):
...     pass
...
>>> g = GraduateStudent()
>>> g.score = 9999
```

除非在子类中也定义__slots__，这样，子类实例允许定义的属性就是自身的__slots__加上父类的__slots__。

1.2 @peoperty

在绑定属性时，如果我们直接把属性暴露出去，虽然写起来很简单，但是，没办法检查参数，导致可以把成绩随便改：

```
s = Student()
s.score = 9999
```

这显然不合逻辑。为了限制score的范围，可以通过一个set_score()方法来设置成绩，再通过一个get_score()来获取成绩，这样，在set_score()方法里，就可以检查参数：

```
class Student(object):

    def get_score(self):
         return self._score

    def set_score(self, value):
        if not isinstance(value, int):
            raise ValueError('score must be an integer!')
        if value < 0 or value > 100:
            raise ValueError('score must between 0 ~ 100!')
        self._score = value
```

现在，对任意的Student实例进行操作，就不能随心所欲地设置score了：

```
>>> s = Student()
>>> s.set_score(60) # ok!
>>> s.get_score()
60
>>> s.set_score(9999)
Traceback (most recent call last):
  ...
ValueError: score must between 0 ~ 100!
```

但是，上面的调用方法又略显复杂，没有直接用属性这么直接简单。

有没有既能检查参数，又可以用类似属性这样简单的方式来访问类的变量呢？对于追求完美的Python程序员来说，这是必须要做到的！

还记得装饰器（decorator）可以给函数动态加上功能吗？对于类的方法，装饰器一样起作用。Python内置的@property装饰器就是负责把一个方法变成属性调用的：

```
class Student(object):

    @property
    def score(self):
```

```
        return self._score

    @score.setter
    def score(self, value):
        if not isinstance(value, int):
            raise ValueError('score must be an integer!')
        if value < 0 or value > 100:
            raise ValueError('score must between 0 ~ 100!')
        self._score = value
```

@property的实现比较复杂，我们先考察如何使用。把一个getter方法变成属性，只需要加上@property就可以了，此时，@property本身又创建了另一个装饰器@score.setter，负责把一个setter方法变成属性赋值，于是，我们就拥有一个可控的属性操作：

```
>>> s = Student()
>>> s.score = 60 # OK，实际转化为s.set_score(60)
>>> s.score # OK，实际转化为s.get_score()
60
>>> s.score = 9999
Traceback (most recent call last):
  ...
ValueError: score must between 0 ~ 100!
```

注意到这个神奇的@property，我们在对实例属性操作的时候，就知道该属性很可能不是直接暴露的，而是通过getter和setter方法来实现的。

还可以定义只读属性，只定义getter方法，不定义setter方法就是一个只读属性：

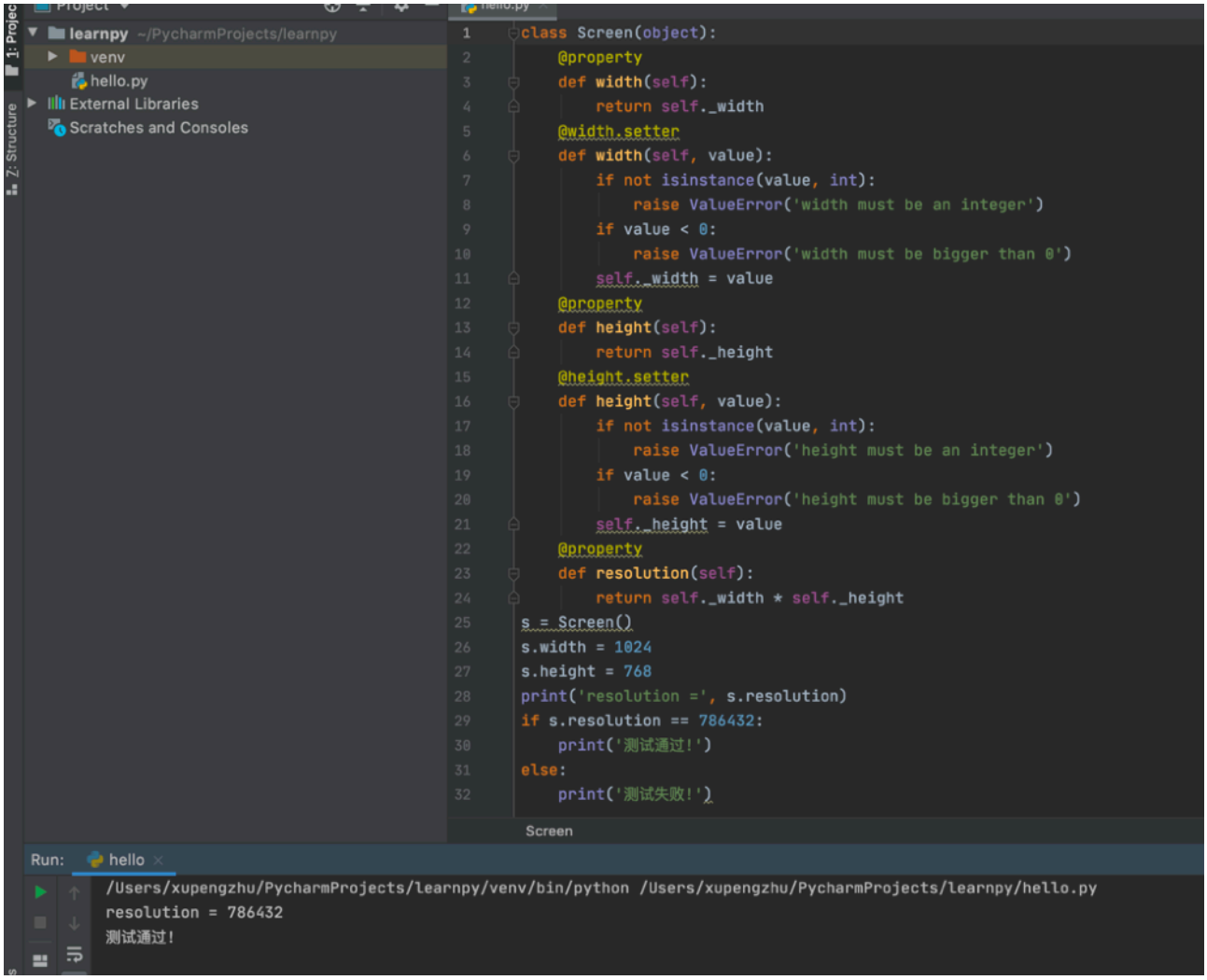
```
class Student(object):

    @property
    def birth(self):
        return self._birth

    @birth.setter
    def birth(self, value):
        self._birth = value

    @property
    def age(self):
        return 2015 - self._birth
```

上面的birth是可读写属性，而age就是一个只读属性，因为age可以根据birth和当前时间计算出来。

一个普通的类定义

明确目标定义一个类

过程一般是这样的，比如一个商品，它有价格、折扣属性。我们一般都会获取商品的价格、折扣并计算商品的最终价格（定义其它类请自己思考，跟这个思路应该是一样的）：




```python
# coding:utf-8

class Goods(object):

    """定义商品类"""

    def __init__(self, price, discount):
        # 售价
        self.price = price
        # 折扣
        self.discount = discount

    def getPrice(self):
        """商品折扣后价格"""
        return self.price * self.discount

    def setPrice(self, value):
        """商品价格设定"""
        self.price = value
```

定义商品类

商品类定义好了，我们看下是否正确。

```
goods = Goods(30, 0.8)
print('商品折扣后售价：', goods.getPrice())
goods.setPrice(40)
print("商品价格变为：", goods.getPrice())
```

输出如下：

商品折扣后售价： 24.0

商品价格变为： 32.0

类定义成功了，但是，光是属性获取、设置就需要2个函数来完成，用户如果想要获取商品折扣后价格，需要调用getPrice()方法来完成，设置商品价格需要调用setPrice()方法。

很多商品，很多方法，很复杂

如果不知道商品提供接口的具体内容，比如传入参数信息等，我们还要查看这2个函数的文档。试想，如果**把折扣后商品价格也变成商品类的一个属性**，用户调用时是不是更方便一点?

使用@property装饰器

我们把上面的类定义做如下修改：

使用@property装饰器

使用该装饰器后，比较上面实例方法调用获取和设置属性就方便多了。我们不需要记住实例方法及参数信息。只需要知道GoodPro类为我们提供了price（商品价格）、discount（折扣率）、priceInfo（商品折扣后价格）这样三个属性即可。我们试验下效果。

使用装饰器

```
goodspro = GoodsPro(30, 0.8)
print('商品折扣后售价：', goodspro.priceInfo)
# 设置商品价格
goodspro.price = 40
# 获取折扣后商品价格
print("商品价格变为：", goodspro.priceInfo)
```

我们暂且不管@priceInfo.deleter这个装饰器，它是用来删除price属性的（当然，此处意义并不太大，我们就不做测试了）。

使用property()函数整合属性

怎么样？上面使用装饰器的方法是不是简单多了，我们不用记住实例方法名称及调用，只需要将实例方法当作类的一个属性来处理即可。但是，上面这种方式有一大堆装饰器，会让初学者恐惧。再者，**如果价格属性price和装饰器函数priceInfo同名时，会造成循环嵌套调用，出现这种情况时，排错较为困难，且可读性不强。**

下面的方法更好

有没有更好的办法呢？我们使用property()函数可方便解决该问题。参照代码如下：

类中通过property()方法提供属性接口

只是提供一个接口，不管内部如何实现，很好的诠释了面向对象的封装理念。来看下如何使用呢?

如何使用呢?

```
gp = GoodsPros(30, 0.8)
print("商品折扣后售价：", gp.PRICE)
gp.PRICE = 40
print("商品价格变为：", gp.PRICE)
# 注意，下面是类名不是具体的实例名称
print(GoodsPros.PRICE.__doc__)
# 实例名称打印输出实例的文档内容
print(gp.PRICE.__doc__)
```

打印输出结果如下：

商品折扣后售价： 24.0

商品价格变为： 32.0

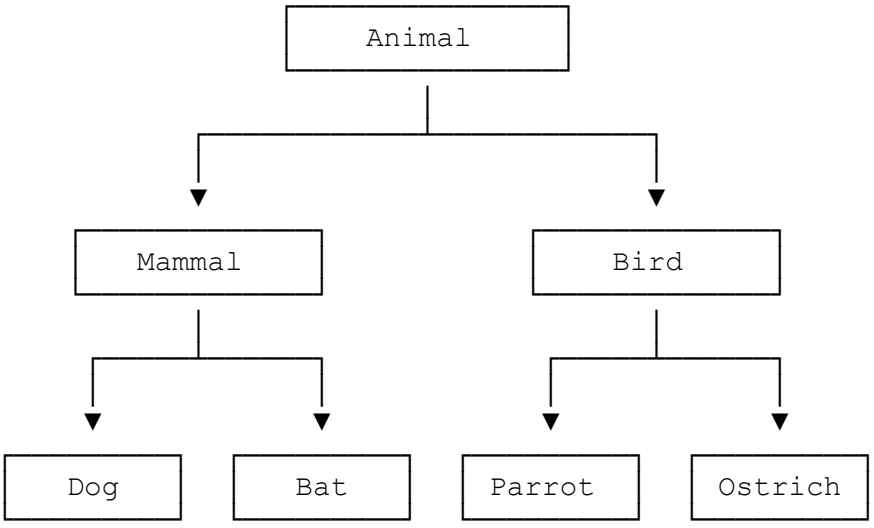
1.3 多重继承

继承是面向对象编程的一个重要的方式，因为通过继承，子类就可以扩展父类的功能。

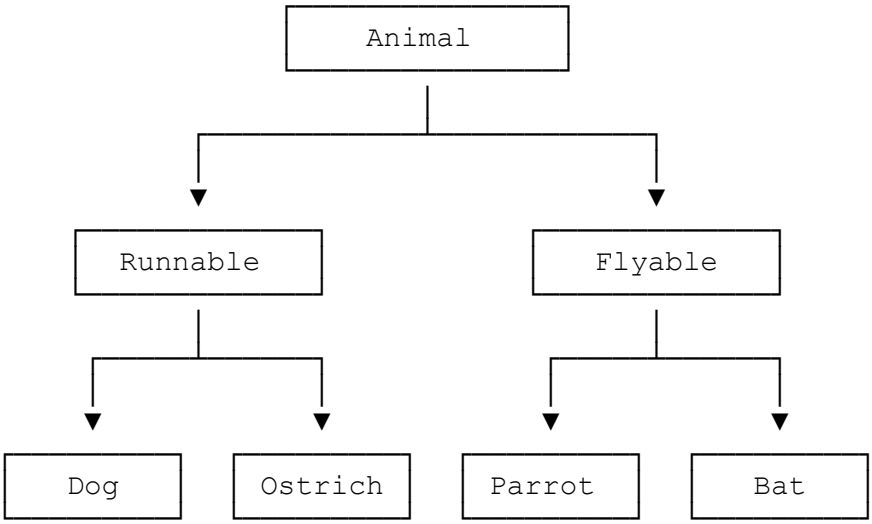
回忆一下`Animal`类层次的设计，假设我们要实现以下4种动物：

- Dog - 狗狗；
- Bat - 蝙蝠；
- Parrot - 鹦鹉；
- Ostrich - 鸵鸟。

如果按照哺乳动物和鸟类归类，我们可以设计出这样的类的层次：



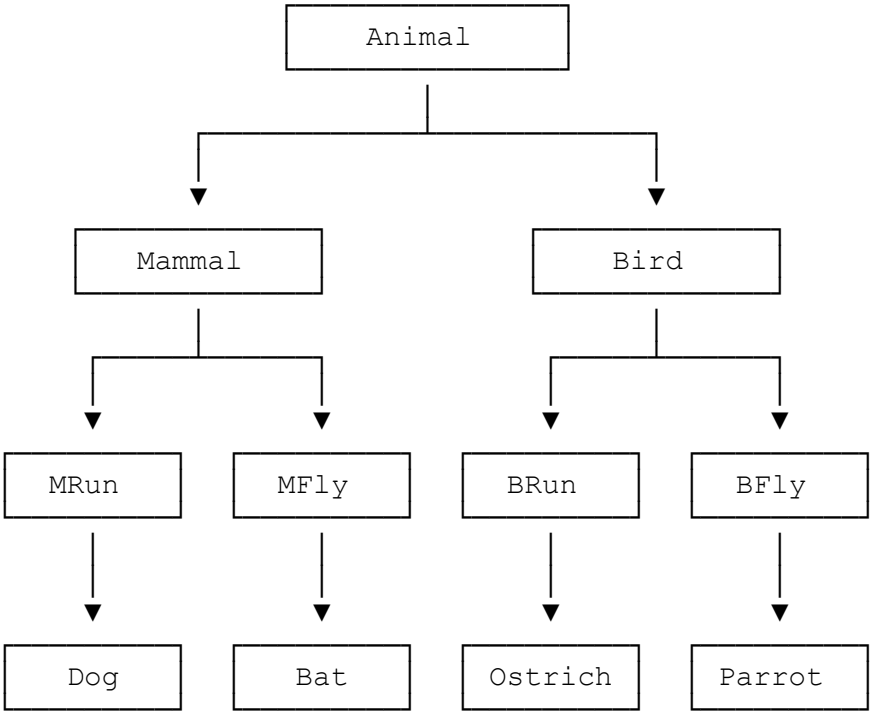
但是如果按照“能跑”和“能飞”来归类，我们就应该设计出这样的类的层次：



如果要把上面的两种分类都包含进来，我们就得设计更多的层次：

- 哺乳类：能跑的哺乳类，能飞的哺乳类；
- 鸟类：能跑的鸟类，能飞的鸟类。

这么一来，类的层次就复杂了：



如果要再增加“宠物类”和“非宠物类”，这么搞下去，类的数量会呈指数增长，很明显这样设计是不行的。

正确的做法是采用多重继承。首先，主要的类层次仍按照哺乳类和鸟类设计：

```
class Animal(object):
    pass

# 大类:
class Mammal(Animal):
    pass

class Bird(Animal):
    pass
```

```
# 各种动物:
class Dog(Mammal):
    pass

class Bat(Mammal):
    pass

class Parrot(Bird):
    pass

class Ostrich(Bird):
    pass
```

现在，我们要给动物再加上Runnable和Flyable的功能，只需要先定义好Runnable和Flyable的类：

```
class Runnable(object):
    def run(self):
        print('Running...')

class Flyable(object):
    def fly(self):
        print('Flying...')
```

对于需要Runnable功能的动物，就多继承一个Runnable，例如Dog：

```
class Dog(Mammal, Runnable):
    pass
```

对于需要Flyable功能的动物，就多继承一个Flyable，例如Bat：

```
class Bat(Mammal, Flyable):
    pass
```

通过多重继承，一个子类就可以同时获得多个父类的所有功能。

MixIn

在设计类的继承关系时，通常，主线都是单一继承下来的，例如，Ostrich继承自Bird。但是，如果需要“混入”额外的功能，通过多重继承就可以实现，比如，让Ostrich除了继承自Bird外，再同时继承Runnable。这种设计通常称之为MixIn。

为了更好地看出继承关系，我们把Runnable和Flyable改为RunnableMixIn和FlyableMixIn。类似的，你还可以定义出肉食动物CarnivorousMixIn和植食动物HerbivoresMixIn，让某个动物同时拥有好几个MixIn：

```
class Dog(Mammal, RunnableMixIn, CarnivorousMixIn):
    pass
```

MixIn的目的就是给一个类增加多个功能，这样，在设计类的时候，我们优先考虑通过多重继承来组合多个MixIn的功能，而不是设计多层次的复杂的继承关系。

Python自带的很多库也使用了MixIn。举个例子，Python自带了TCPServer和UDPServer这两类网络服务，而要同时服务多个用户就必须使用多进程或多线程模型，这两种模型由ForkingMixIn和ThreadingMixIn提供。通过组合，我们就可以创造出合适的服务来。

比如，编写一个多进程模式的TCP服务，定义如下：

```
class MyTCPServer(TCPServer, ForkingMixIn):
    pass
```

编写一个多线程模式的UDP服务，定义如下：

```
class MyUDPServer(UDPServer, ThreadingMixIn):
    pass
```

如果你打算搞一个更先进的协程模型，可以编写一个CoroutineMixIn：

```
class MyTCPServer(TCPServer, CoroutineMixIn):
```

```
    pass
```

这样一来，我们不需要复杂而庞大的继承链，只要选择组合不同的类的功能，就可以快速构造出所需的子类。

1.4 定制类(在这我们可以对类进行个性化定制)

__str__

我们先定义一个Student类，打印一个实例：

```
>>> class Student(object):
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...
>>> print(Student('Michael'))
<__main__.Student object at 0x109afb190>
```

打印出一堆<__main__.Student object at 0x109afb190>，不好看。

怎么才能打印得好看呢？只需要定义好__str__()方法，返回一个好看的字符串就可以了：

```
>>> class Student(object):
...     def __init__(self, name):
...         self.name = name
...     def __str__(self):
...         return 'Student object (name: %s)' % self.name
...
>>> print(Student('Michael'))
Student object (name: Michael)
```

这样打印出来的实例，不但好看，而且容易看出实例内部重要的数据。

但是细心的朋友会发现直接敲变量不用print，打印出来的实例还是不好看：

```
>>> s = Student('Michael')
>>> s
<__main__.Student object at 0x109afb310>
```

这是因为直接显示变量调用的不是__str__()，而是__repr__()，两者的区别是__str__()返回用户看到的字符串，而__repr__()返回程序开发者看到的字符串，也就是说，__repr__()是为调试服务的。

解决办法是再定义一个__repr__()。但是通常__str__()和__repr__()代码都是一样的，所以，有个偷懒的写法：

```
class Student(object):

    def __init__(self, name):
        self.name = name

    def __str__(self):
        return 'Student object (name: %s)' % self.name

    __repr__ = __str__

print(Student('Michael'))
```

__iter__

如果一个类想被用于`for ... in`循环，类似list或tuple那样，就必须实现一个`__iter__()`方法，该方法返回一个迭代对象，然后，Python的for循环就会不断调用该迭代对象的`__next__()`方法拿到循环的下一个值，直到遇到`StopIteration`错误时退出循环。

我们以斐波那契数列为例，写一个Fib类，可以作用于for循环：

```
class Fib(object):

    def __init__(self):
        self.a, self.b = 0, 1 # 初始化两个计数器a，b

    def __iter__(self):
        return self # 实例本身就是迭代对象，故返回自己

    def __next__(self):
        self.a, self.b = self.b, self.a + self.b # 计算下一个值
        if self.a > 100000: # 退出循环的条件
            raise StopIteration();
        return self.a # 返回下一个值

for n in Fib():
    print(n)
```

现在，试试把Fib实例作用于for循环：

```
>>> for n in Fib():
...     print(n)
...
1
1
2
3
5
...
46368
75025
```

__getitem__

Fib实例虽然能作用于for循环，看起来和list有点像，但是，把它当成list来使用还是不行，比如，取第5个元素：

```
>>> Fib()[5]
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'Fib' object does not support indexing
```

要表现得像list那样按照下标取出元素，需要实现`__getitem__()`方法：

```
class Fib(object):
    def __getitem__(self, n):
        a, b = 1, 1
        for x in range(n):
            a, b = b, a + b
        return a
```

现在，就可以按下标访问数列的任意一项了：

```
>>> f = Fib()
>>> f[0]
1
>>> f[1]
1
>>> f[2]
2
>>> f[3]
3
>>> f[10]
89
>>> f[100]
573147844013817084101
```

但是list有个神奇的切片方法：

```
>>> list(range(100))[5:10]
[5, 6, 7, 8, 9]
```

对于Fib却报错。原因是__getitem__()传入的参数可能是一个int，也可能是一个切片对象slice，所以要做判断：

```
class Fib(object):

    def __getitem__(self, n):
        if isinstance(n, int):
            a, b = 1, 1
            for x in range(n):
                a, b = b, a + b
            return a
        if isinstance(n, slice):
            start = n.start
            stop = n.stop
            if start is None:
                start = 0
            a, b = 1, 1
            L = []
            for x in range(stop):
                if x >= start:
                    L.append(a)
                a, b = b, a + b
            return L
```

现在试试Fib的切片：

```
>>> f = Fib()
>>> f[0:5]
[1, 1, 2, 3, 5]
>>> f[:10]
[1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55]
```

但是没有对step参数作处理：

```
>>> f[:10:2]
[1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55,
89]
```

```
f = Fib()
print(f[0])
print(f[5])
print(f[100])
print(f[0:5])
print(f[:10])
```

也没有对负数作处理，所以，要正确实现一个__getitem__()还是有很多工作要做的。

此外，如果把对象看成dict，__getitem__()的参数也可能是一个可以作key的object，例如str。

与之对应的是__setitem__()方法，把对象视作list或dict来对集合赋值。最后，还有一个__delitem__()方法，用于删除某个元素。

总之，通过上面的方法，我们自己定义的类表现得和Python自带的list、tuple、dict没什么区别，这完全归功于动态语言的“鸭子类型”，不需要强制继承某个接口。

__getattr__

正常情况下，当我们调用类的方法或属性时，如果不存在，就会报错。比如定义Student类：

```
class Student(object):

    def __init__(self):
        self.name = 'Michael'
```

调用name属性，没问题，但是，调用不存在的score属性，就有问题了：

```
>>> s = Student()
```

```
>>> print(s.name)
Michael
>>> print(s.score)
Traceback (most recent call last):
  ...
AttributeError: 'Student' object has no attribute 'score'
```

错误信息很清楚地告诉我们，没有找到score这个attribute。

要避免这个错误，除了可以加上一个score属性外，Python还有另一个机制，那就是写一个__getattr__()方法，动态返回一个属性。修改如下：

```
class Student(object):

    def __init__(self):
        self.name = 'Michael'

    def __getattr__(self, attr):
        if attr=='score':
            return 99
```

当调用不存在的属性时，比如score，Python解释器会试图调用__getattr__(self, 'score')来尝试获得属性，这样，我们就有机会返回score的值：

```
>>> s = Student()
>>> s.name
'Michael'
>>> s.score
99
```

返回函数也是完全可以的：

```
class Student(object):

    def __getattr__(self, attr):
        if attr=='age':
            return lambda: 25
```

只是调用方式要变为：

```
>>> s.age()
25
```

注意，只有在没有找到属性的情况下，才调用__getattr__，已有的属性，比如name，不会在__getattr__中查找。

此外，注意到任意调用如s.abc都会返回None，这是因为我们定义的__getattr__默认返回就是None。要让class只响应特定的几个属性，我们就要按照约定，抛出AttributeError的错误：

```
class Student(object):

    def __getattr__(self, attr):
        if attr=='age':
            return lambda: 25
        raise AttributeError('\'Student\' object has no attribute \'%s\'' % attr)
```

这实际上可以把一个类的所有属性和方法调用全部动态化处理了，不需要任何特殊手段。

这种完全动态调用的特性有什么实际作用呢？作用就是，可以针对完全动态的情况作调用。

举个例子：

现在很多网站都搞REST API，比如新浪微博、豆瓣啥的，调用API的URL类似：

- http://api.server/user/friends
- http://api.server/user/timeline/list

如果要写SDK，给每个URL对应的API都写一个方法，那得累死，而且，API一旦改动，SDK也要改。

利用完全动态的__getattr__，我们可以写出一个链式调用：

```
class Chain(object):

    def __init__(self, path=''):
        self._path = path

    def __getattr__(self, path):
        return Chain('%s/%s' % (self._path, path))

    def __str__(self):
        return self._path

    __repr__ = __str__
```

试试：

```
>>> Chain().status.user.timeline.list
'/status/user/timeline/list'
```

这样，无论API怎么变，SDK都可以根据URL实现完全动态的调用，而且，不随API的增加而改变！

还有些REST API会把参数放到URL中，比如GitHub的API：

```
GET /users/:user/repos
```

调用时，需要把:user替换为实际用户名。如果我们能写出这样的链式调用：

```
Chain().users('michael').repos
```

就可以非常方便地调用API了。有兴趣的童鞋可以试试写出来。

__call__

一个对象实例可以有自己的属性和方法，当我们调用实例方法时，我们用instance.method()来调用。能不能直接在实例本身上调用呢？在Python中，答案是肯定的。

任何类，只需要定义一个__call__()方法，就可以直接对实例进行调用。请看示例：

```
class Student(object):
    def __init__(self, name):
        self.name = name

    def __call__(self):
        print('My name is %s.' % self.name)
```

调用方式如下：

```
>>> s = Student('Michael')
>>> s() # self参数不要传入
My name is Michael.
```

__call__()还可以定义参数。对实例进行直接调用就好比对一个函数进行调用一样，所以你完全可以把对象看成函数，把函数看成对象，因为这两者之间本来就没啥根本的区别。

如果你把对象看成函数，那么函数本身其实也可以在运行期动态创建出来，因为类的实例都是运行期创建出来的，这么一来，我们就模糊了对象和函数的界限。

那么，怎么判断一个变量是对象还是函数呢？其实，更多的时候，我们需要判断一个对象是否能被调用，能被调用的对象就是一个Callable对象，比如函数和我们上面定义的带有__call__()的类实例：

```
>>> callable(Student())
True
>>> callable(max)
True
>>> callable([1, 2, 3])
False
>>> callable(None)
False
```

```
>>> callable('str')
False
```

通过callable()函数，我们就可以判断一个对象是否是“可调用”对象。

1.5 枚举类

Python提供了Enum类来实现这个功能：

```
from enum import Enum

Month = Enum('Month', ('Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul',
'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec'))
```

这样我们就获得了Month类型的枚举类，可以直接使用Month.Jan来引用一个常量，或者枚举它的所有成员：

```
for name, member in Month.__members__.items():
    print(name, '=>', member, ',', member.value)
```

value属性则是自动赋给成员的int常量，默认从1开始计数。

如果需要更精确地控制枚举类型，可以从Enum派生出自定义类：

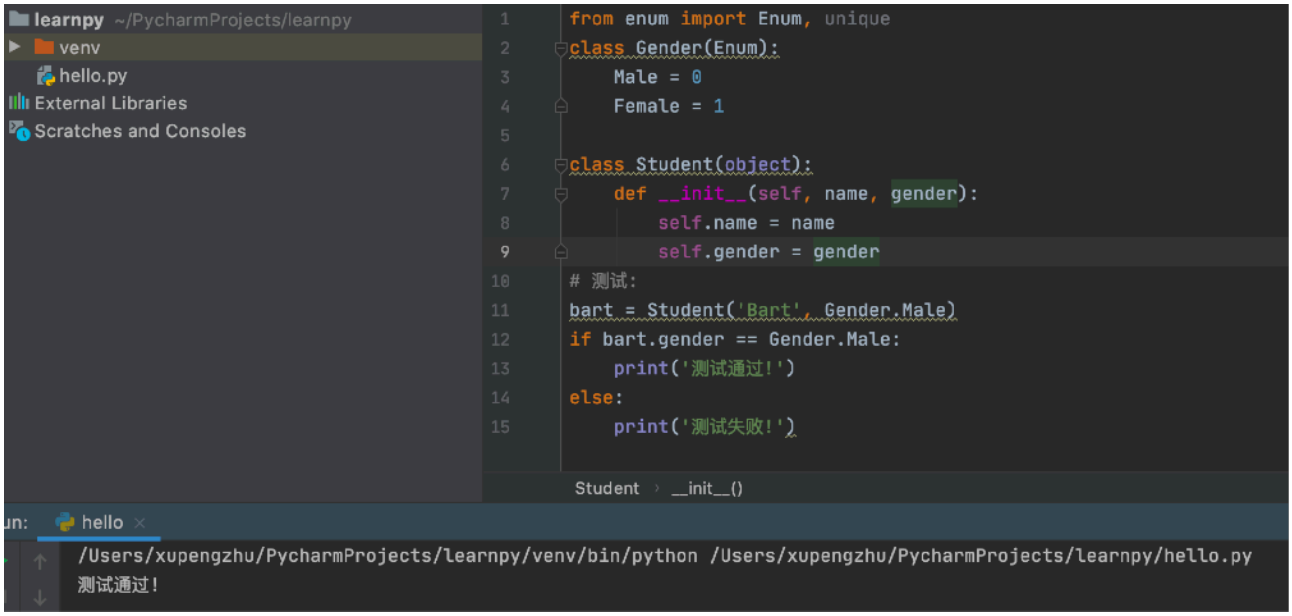
```
from enum import Enum, unique

@unique
class Weekday(Enum):
    Sun = 0 # Sun的value被设定为0
    Mon = 1
    Tue = 2
    Wed = 3
    Thu = 4
    Fri = 5
    Sat = 6
```

@unique装饰器可以帮助我们检查保证没有重复值。

访问这些枚举类型可以有若干种方法：

```
>>> day1 = Weekday.Mon
>>> print(day1)
Weekday.Mon
>>> print(Weekday.Tue)
Weekday.Tue
>>> print(Weekday['Tue'])
Weekday.Tue
>>> print(Weekday.Tue.value)
2
>>> print(day1 == Weekday.Mon)
True
>>> print(day1 == Weekday.Tue)
False
>>> print(Weekday(1))
Weekday.Mon
>>> print(day1 == Weekday(1))
True
>>> Weekday(7)
Traceback (most recent call last):
  ...
ValueError: 7 is not a valid Weekday
>>> for name, member in Weekday.__members__.items():
...     print(name, '=>', member)
...
Sun => Weekday.Sun
```

```
Mon => Weekday.Mon
Tue => Weekday.Tue
Wed => Weekday.Wed
Thu => Weekday.Thu
Fri => Weekday.Fri
Sat => Weekday.Sat
```



1.6 元组

type()

动态语言和静态语言最大的不同，就是函数和类的定义，不是编译时定义的，而是运行时动态创建的。

比方说我们要定义一个Hello的class，就写一个hello.py模块：

```
class Hello(object):
    def hello(self, name='world'):
        print('Hello, %s.' % name)
```

当Python解释器载入hello模块时，就会依次执行该模块的所有语句，执行结果就是动态创建出一个Hello的class对象，测试如下：

```
>>> from hello import Hello
>>> h = Hello()
>>> h.hello()
Hello, world.
>>> print(type(Hello))
<class 'type'>
>>> print(type(h))
<class 'hello.Hello'>
```

type()函数可以查看一个类型或变量的类型，Hello是一个class，它的类型就是type，而h是一个实例，它的类型就是class Hello。

我们说class的定义是运行时动态创建的，而创建class的方法就是使用type()函数。

type()函数既可以返回一个对象的类型，又可以创建出新的类型，比如，我们可以通过type()函数创建出Hello类，而无需通过class Hello(object)...的定义：

```
>>> def fn(self, name='world'): # 先定义函数
...     print('Hello, %s.' % name)
...
>>> Hello = type('Hello', (object,), dict(hello=fn)) # 创建Hello class
```

```
>>> h = Hello()
>>> h.hello()
Hello, world.
>>> print(type(Hello))
<class 'type'>
>>> print(type(h))
<class '__main__.Hello'>
```

要创建一个class对象，`type()`函数依次传入3个参数：

1. class的名称；
2. 继承的父类集合，注意Python支持多重继承，如果只有一个父类，别忘了tuple的单元素写法；
3. class的方法名称与函数绑定，这里我们把函数`fn`绑定到方法名`hello`上。

通过`type()`函数创建的类和直接写class是完全一样的，因为Python解释器遇到class定义时，仅仅是扫描一下class定义的语法，然后调用`type()`函数创建出class。

正常情况下，我们都用`class Xxx...`来定义类，但是，`type()`函数也允许我们动态创建出类来，也就是说，动态语言本身支持运行期动态创建类，这和静态语言有非常大的不同，要在静态语言运行期创建类，必须构造源代码字符串再调用编译器，或者借助一些工具生成字节码实现，本质上都是动态编译，会非常复杂。

metaclass

除了使用`type()`动态创建类以外，要控制类的创建行为，还可以使用metaclass。

metaclass，直译为元类，简单的解释就是：

当我们定义了类以后，就可以根据这个类创建出实例，所以：先定义类，然后创建实例。

但是如果我们想创建出类呢？那就必须根据metaclass创建出类，所以：先定义metaclass，然后创建类。

连接起来就是：先定义metaclass，就可以创建类，最后创建实例。

所以，metaclass允许你创建类或者修改类。换句话说，你可以把类看成是metaclass创建出来的“实例”。

metaclass是Python面向对象里最难理解，也是最难使用的魔术代码。正常情况下，你不会碰到需要使用metaclass的情况，所以，以下内容看不懂也没关系，因为基本上你不会用到。

我们先看一个简单的例子，这个metaclass可以给我们自定义的MyList增加一个`add`方法：

定义`ListMetaclass`，按照默认习惯，metaclass的类名总是以Metaclass结尾，以便清楚地表示这是一个metaclass：

```
# metaclass是类的模板，所以必须从`type`类型派生：
class ListMetaclass(type):
    def __new__(cls, name, bases, attrs):
        attrs['add'] = lambda self, value: self.append(value)
        return type.__new__(cls, name, bases, attrs)
```

有了ListMetaclass，我们在定义类的时候还要指示使用ListMetaclass来定制类，传入关键字参数`metaclass`：

```
class MyList(list, metaclass=ListMetaclass):
    pass
```

当我们传入关键字参数`metaclass`时，魔术就生效了，它指示Python解释器在创建`MyList`时，要通过`ListMetaclass.__new__()`来创建，在此，我们可以修改类的定义，比如，加上新的方法，然后，返回修改后的定义。

`__new__()`方法接收到的参数依次是：

1. 当前准备创建的类的对象；
2. 类的名字；

3. 类继承的父类集合；
4. 类的方法集合。

测试一下MyList是否可以调用add()方法：

```
>>> L = MyList()
>>> L.add(1)
>> L
[1]
```

而普通的list没有add()方法：

```
>>> L2 = list()
>>> L2.add(1)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'list' object has no attribute 'add'
```

动态修改有什么意义？直接在MyList定义中写上add()方法不是更简单吗？正常情况下，确实应该直接写，通过metaclass修改纯属变态。

但是，总会遇到需要通过metaclass修改类定义的。ORM就是一个典型的例子。

ORM全称“Object Relational Mapping”，即对象-关系映射，就是把关系数据库的一行映射为一个对象，也就是一个类对应一个表，这样，写代码更简单，不用直接操作SQL语句。

要编写一个ORM框架，所有的类都只能动态定义，因为只有使用者才能根据表的结构定义出对应的类来。

让我们来尝试编写一个ORM框架。

编写底层模块的第一步，就是先把调用接口写出来。比如，使用者如果使用这个ORM框架，想定义一个User类来操作对应的数据库表User，我们期待他写出这样的代码：

```
class User(Model):
    # 定义类的属性到列的映射：
    id = IntegerField('id')
    name = StringField('username')
    email = StringField('email')
    password = StringField('password')

# 创建一个实例：
u = User(id=12345, name='Michael', email='test@orm.org', password='my-pwd')
# 保存到数据库：
u.save()
```

其中，父类Model和属性类型StringField、IntegerField是由ORM框架提供的，剩下的魔术方法比如save()全部由metaclass自动完成。虽然metaclass的编写会比较复杂，但ORM的使用者用起来却异常简单。

现在，我们就按上面的接口来实现该ORM。

首先来定义Field类，它负责保存数据库表的字段名和字段类型：

```
class Field(object):

    def __init__(self, name, column_type):
        self.name = name
        self.column_type = column_type

    def __str__(self):
        return '<%s:%s>' % (self.__class__.__name__, self.name)
```

在Field的基础上，进一步定义各种类型的Field，比如StringField，IntegerField等等：

```
class StringField(Field):
```

```
    def __init__(self, name):
        super(StringField, self).__init__(name, 'varchar(100)')

class IntegerField(Field):

    def __init__(self, name):
        super(IntegerField, self).__init__(name, 'bigint')
```

下一步，就是编写最复杂的ModelMetaclass了：

```
class ModelMetaclass(type):

    def __new__(cls, name, bases, attrs):
        if name=='Model':
            return type.__new__(cls, name, bases, attrs)
        print('Found model: %s' % name)
        mappings = dict()
        for k, v in attrs.items():
            if isinstance(v, Field):
                print('Found mapping: %s ==> %s' % (k, v))
                mappings[k] = v
        for k in mappings.keys():
            attrs.pop(k)
        attrs['__mappings__'] = mappings # 保存属性和列的映射关系
        attrs['__table__'] = name # 假设表名和类名一致
        return type.__new__(cls, name, bases, attrs)
```

以及基类Model：

```
class Model(dict, metaclass=ModelMetaclass):

    def __init__(self, **kw):
        super(Model, self).__init__(**kw)

    def __getattr__(self, key):
        try:
            return self[key]
        except KeyError:
            raise AttributeError(r"'Model' object has no attribute '%s'"
% key)

    def __setattr__(self, key, value):
        self[key] = value

    def save(self):
        fields = []
        params = []
        args = []
        for k, v in self.__mappings__.items():
            fields.append(v.name)
            params.append('?')
            args.append(getattr(self, k, None))
        sql = 'insert into %s (%s) values (%s)' % (self.__table__,
','.join(fields), ','.join(params))
        print('SQL: %s' % sql)
        print('ARGS: %s' % str(args))
```

当用户定义一个class User(Model)时，Python解释器首先在当前类User的定义中查找metaclass，如果没有找到，就继续在父类Model中查找metaclass，找到了，就使用Model中定义的metaclass的ModelMetaclass来创建User类，也就是说，metaclass可以隐式地继承到子类，但子类自己却感觉不到。

在ModelMetaclass中，一共做了几件事情：

1. 排除掉对Model类的修改；
2. 在当前类（比如User）中查找定义的类的所有属性，如果找到一个Field属性，就把它保存到一个__mappings__的dict中，同时从类属性中删除该Field属性，否则，容易造成运行时错误（实例的属性会遮盖类的同名属性）；
3. 把表名保存到__table__中，这里简化为表名默认为类名。

在Model类中，就可以定义各种操作数据库的方法，比如save()，delete()，find()，update等等。

我们实现了save()方法，把一个实例保存到数据库中。因为有表名，属性到字段的映射和属性值的集合，就可以构造出INSERT语句。

编写代码试试：

```
u = User(id=12345, name='Michael', email='test@orm.org', password='my-pwd')
u.save()
```

输出如下：

```
Found model: User
Found mapping: email ==> <StringField:email>
Found mapping: password ==> <StringField:password>
Found mapping: id ==> <IntegerField:uid>
Found mapping: name ==> <StringField:username>
SQL: insert into User (password,email,username,id) values (?,?,?,?)
ARGS: ['my-pwd', 'test@orm.org', 'Michael', 12345]
```

可以看到，save()方法已经打印出了可执行的SQL语句，以及参数列表，只需要真正连接到数据库，执行该SQL语句，就可以完成真正的功能。

第二部分:正则表达式

字符串是编程时涉及到的最多的一种数据结构，对字符串进行操作的需求几乎无处不在。比如判断一个字符串是否是合法的Email地址，虽然可以编程提取@前后的子串，再分别判断是否是单词和域名，但这样做不但麻烦，而且代码难以复用。

正则表达式是一种用来匹配字符串的强有力的武器。它的设计思想是用一种描述性的语言来给字符串定义一个规则，凡是符合规则的字符串，我们就认为它“匹配”了，否则，该字符串就是不合法的。

所以我们判断一个字符串是否是合法的Email的方法是：

1. 创建一个匹配Email的正则表达式；
2. 用该正则表达式去匹配用户的输入来判断是否合法。

因为正则表达式也是用字符串表示的，所以，我们要首先了解如何用字符来描述字符。

在正则表达式中，如果直接给出字符，就是精确匹配。用\d可以匹配一个数字，\w可以匹配一个字母或数字，所以：

- '00\d'可以匹配'007'，但无法匹配'00A'；
- '\d\d\d'可以匹配'010'；
- '\w\w\d'可以匹配'py3'；

.可以匹配任意字符，所以：

- 'py.'可以匹配'pyc'、'pyo'、'py!'等等。

要匹配变长的字符，在正则表达式中，用*表示任意个字符（包括0个），用+表示至少一个字符，用?表示0个或1个字符，用{n}表示n个字符，用{n,m}表示n-m个字符：

来看一个复杂的例子：\d{3}\s+\d{3,8}。

我们来从左到右解读一下：

1. \d{3}表示匹配3个数字，例如'010'；
2. \s可以匹配一个空格（也包括Tab等空白符），所以\s+表示至少有一个空格，例如匹配' '，' '等；
3. \d{3,8}表示3-8个数字，例如'1234567'。

综合起来，上面的正则表达式可以匹配以任意个空格隔开的带区号的电话号码。

如果要匹配'010-12345'这样的号码呢？由于'-'是特殊字符，在正则表达式中，要用'\'转义，所以，上面的正则是\d{3}\-\d{3,8}。

但是，仍然无法匹配'010 - 12345'，因为带有空格。所以我们需要更复杂的匹配方式。

进阶

要做更精确地匹配，可以用[]表示范围，比如：

- [0-9a-zA-Z_]可以匹配一个数字、字母或者下划线；
- [0-9a-zA-Z_]+可以匹配至少由一个数字、字母或者下划线组成的字符串，比如'a100'，'0_Z'，'Py3000'等等；
- [a-zA-Z_][0-9a-zA-Z_]*可以匹配由字母或下划线开头，后接任意个由一个数字、字母或者下划线组成的字符串，也就是Python合法的变量；
- [a-zA-Z_][0-9a-zA-Z_]{0, 19}更精确地限制了变量的长度是1-20个字符（前面1个字符+后面最多19个字符）。

A|B可以匹配A或B，所以(P|p)ython可以匹配'Python'或者'python'。

^表示行的开头，^\d表示必须以数字开头。

$表示行的结束，\d$表示必须以数字结束。

你可能注意到了，py也可以匹配'python'，但是加上^py$就变成了整行匹配，就只能匹配'py'了。

re模块

有了准备知识，我们就可以在Python中使用正则表达式了。Python提供re模块，包含所有正则表达式的功能。由于Python的字符串本身也用\转义，所以要特别注意：

```
s = 'ABC\\-001' # Python的字符串
# 对应的正则表达式字符串变成：
# 'ABC\-001'
```

因此我们强烈建议使用Python的r前缀，就不用考虑转义的问题了：

```
s = r'ABC\-001' # Python的字符串
# 对应的正则表达式字符串不变：
# 'ABC\-001'
```

先看看如何判断正则表达式是否匹配：

```
>>> import re
>>> re.match(r'^\d{3}\-\d{3,8}$', '010-12345')
<_sre.SRE_Match object; span=(0, 9), match='010-12345'>
>>> re.match(r'^\d{3}\-\d{3,8}$', '010 12345')
>>>
```

match()方法判断是否匹配，如果匹配成功，返回一个Match对象，否则返回None。常见的判断方法就是：

```
test = '用户输入的字符串'
if re.match(r'正则表达式', test):
```

```
    print('ok')
else:
    print('failed')
```

除了简单地判断是否匹配之外，正则表达式还有提取子串的强大功能。用()表示的就是要提取的分组（Group）。比如：

^(\d{3})-(\d{3,8})$分别定义了两个组，可以直接从匹配的字符串中提取出区号和本地号码：

```
>>> m = re.match(r'^(\d{3})-(\d{3,8})$', '010-12345')
>>> m
<_sre.SRE_Match object; span=(0, 9), match='010-12345'>
>>> m.group(0)
'010-12345'
>>> m.group(1)
'010'
>>> m.group(2)
'12345'
```

如果正则表达式中定义了组，就可以在Match对象上用group()方法提取出子串来。

注意到group(0)永远是原始字符串，group(1)、group(2)……表示第1、2、……个子串。

提取子串非常有用。来看一个更凶残的例子：

```
>>> t = '19:05:30'
>>> m = re.match(r'^(0[0-9]|1[0-9]|2[0-3]|[0-9])\:(0[0-9]|1[0-9]|2[0-9]|
3[0-9]|4[0-9]|5[0-9]|[0-9])\:(0[0-9]|1[0-9]|2[0-9]|3[0-9]|4[0-9]|5[0-9]|
[0-9])$', t)
>>> m.groups()
('19', '05', '30')
```

这个正则表达式可以直接识别合法的时间。但是有些时候，用正则表达式也无法做到完全验证，比如识别日期：

```
'^(0[1-9]|1[0-2]|[0-9])-(0[1-9]|1[0-9]|2[0-9]|3[0-1]|[0-9])$'
```

对于'2-30'，'4-31'这样的非法日期，用正则还是识别不了，或者说写出来非常困难，这时就需要程序配合识别了。

贪婪匹配

最后需要特别指出的是，正则匹配默认是贪婪匹配，也就是匹配尽可能多的字符。举例如下，匹配出数字后面的0：

```
>>> re.match(r'^(\d+)(0*)$', '102300').groups()
('102300', '')
```

由于\d+采用贪婪匹配，直接把后面的0全部匹配了，结果0*只能匹配空字符串了。

必须让\d+采用非贪婪匹配（也就是尽可能少匹配），才能把后面的0匹配出来，加个?就可以让\d+采用非贪婪匹配：

```
>>> re.match(r'^(\d+?)(0*)$', '102300').groups()
('1023', '00')
```

编译

当我们在Python中使用正则表达式时，re模块内部会干两件事情：

1. 编译正则表达式，如果正则表达式的字符串本身不合法，会报错；
2. 用编译后的正则表达式去匹配字符串。

如果一个正则表达式要重复使用几千次，出于效率的考虑，我们可以预编译该正则表达式，接下来重复使用时就不需要编译这个步骤了，直接匹配：

```
>>> import re
# 编译:
>>> re_telephone = re.compile(r'^(\d{3})-(\d{3,8})$')
# 使用:
>>> re_telephone.match('010-12345').groups()
```

```
('010', '12345')
>>> re_telephone.match('010-8086').groups()
('010', '8086')
```

编译后生成Regular Expression对象，由于该对象自己包含了正则表达式，所以调用对应的方法时不用给出正则字符串。