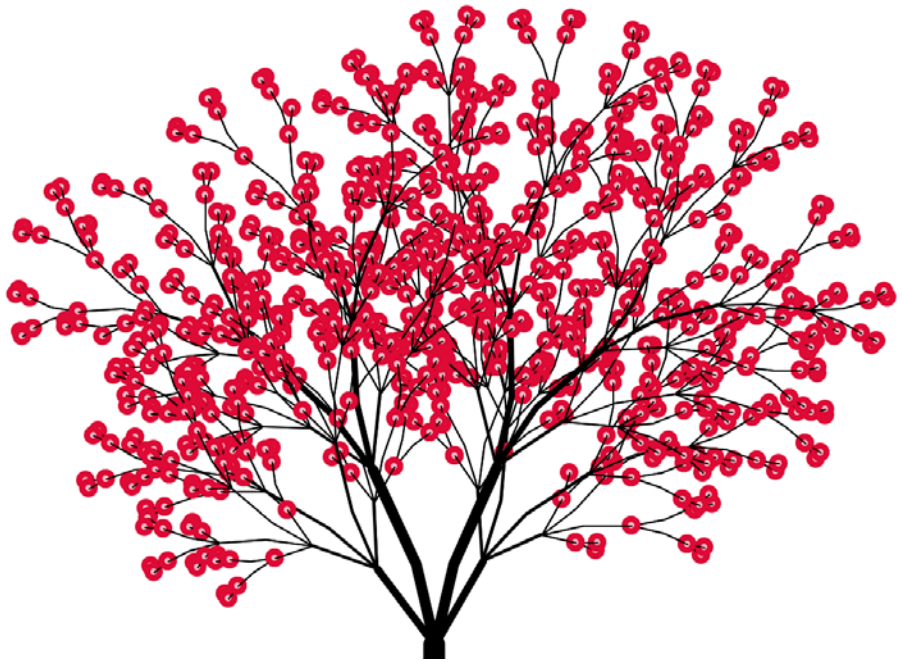
数据结构与算法（Python版）

递归可视化：分形树

陈斌 北京大学 gischen@pku.edu.cn

递归可视化：图示

- 前面的种种递归算法展现了其简单而强大的一面，但还是难有个直观的概念
- 下面我们通过递归作图来展现递归调用的视觉影像

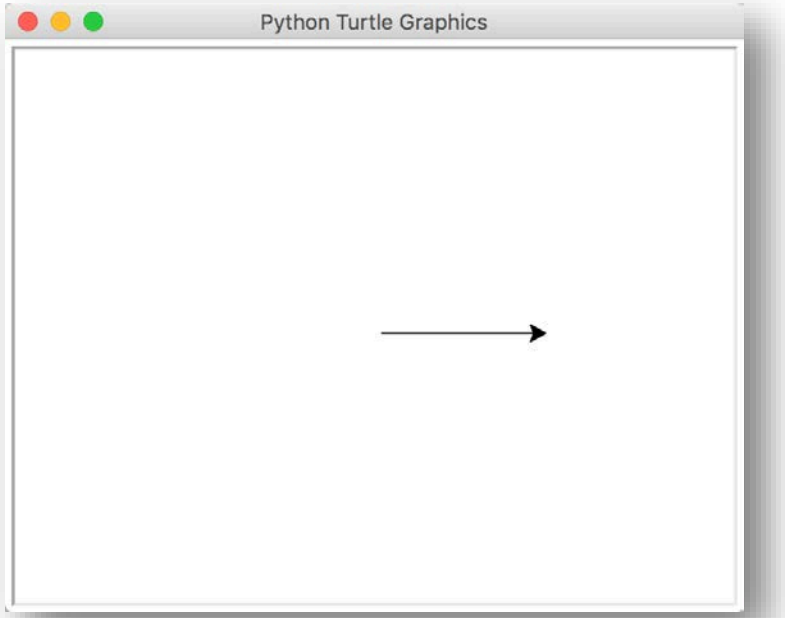


递归可视化：图示

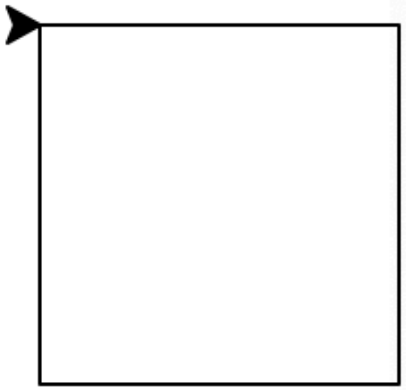
- Python的海龟作图系统turtle module
  - Python内置，随时可用，以LOGO语言的创意为基础
  - 其意象为模拟海龟在沙滩上爬行而留下的足迹
  - 爬行：forward(n)；backward(n)
  - 转向：left(a)；right(a)
  - 抬笔放笔：penup()；pendown()
  - 笔属性：pensize(s)；pencolor(c)

递归可视化：图示


```
import turtle
t= turtle.Turtle()

# 作图开始

t.forward(100) #指挥海龟作图

# 作图结束

turtle.done()
```



海龟作图



t1.py

```
1  import turtle
2
3  t = turtle.Turtle()
4
5  for i in range(4):
6      t.forward(100)
7      t.right(90)
8
9  turtle.done()
10
```

海龟作图

t1.py × t2.py ×

```
1  import turtle
2
3  t = turtle.Turtle()
4
5  t.pencolor('red')
6  t.pensize(3)
7  for i in range(5):
8      t.forward(100)
9      t.right(144)
10 t.hideturtle()
11
12 turtle.done()
13
```

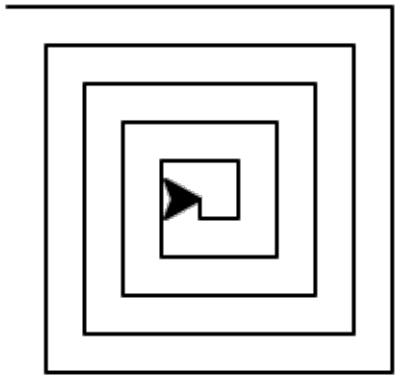
一个递归作图的例子：螺旋


```
1  import turtle
2
3  t = turtle.Turtle()
4
5  def drawSpiral(t, lineLen):
6      if lineLen > 0:
7          t.forward(lineLen)
8          t.right(90)
9          drawSpiral(t, lineLen - 5)
10
11 drawSpiral(t, 100)
12
13 turtle.done()
```

最小规模，0直接退出

减小规模，边长减5

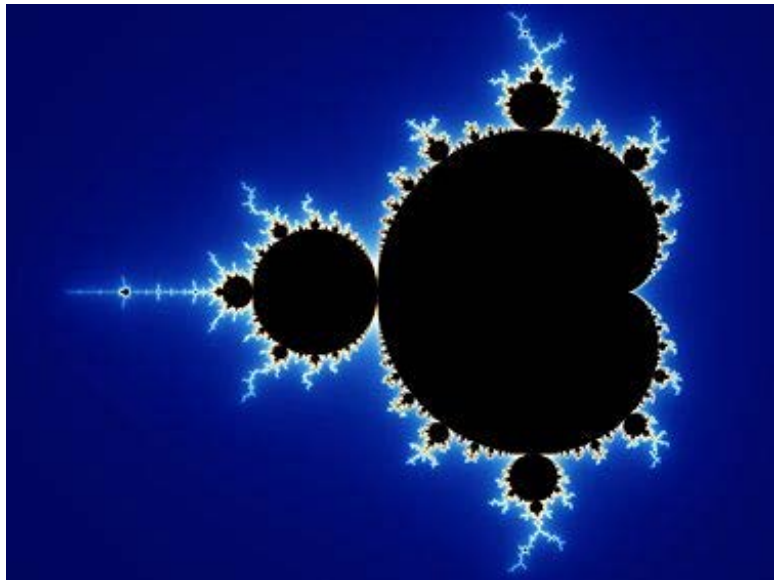
调用自身



分形树：自相似递归图形

- 分形Fractal，是1975年由Mandelbrot开创的新学科

  “一个粗糙或零碎的几何形状，可以分成数个部分，且每一部分都（至少近似地）是整体缩小后的形状”，即具有自相似的性质。



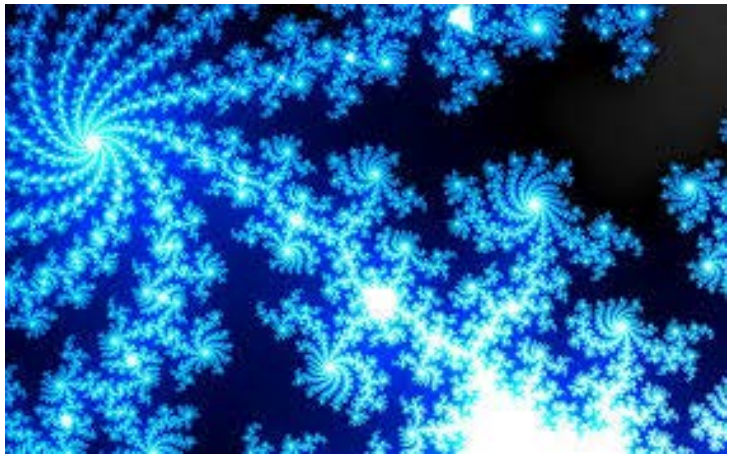
分形树：自相似递归图形

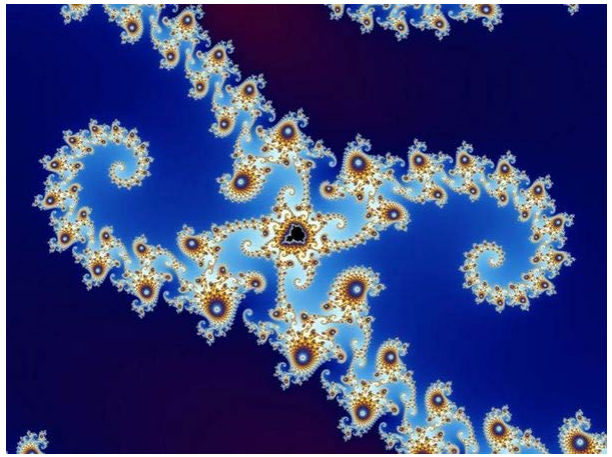
- 自然界中能找到众多具有分形性质的物体

  海岸线、山脉、闪电、云朵、雪花、树

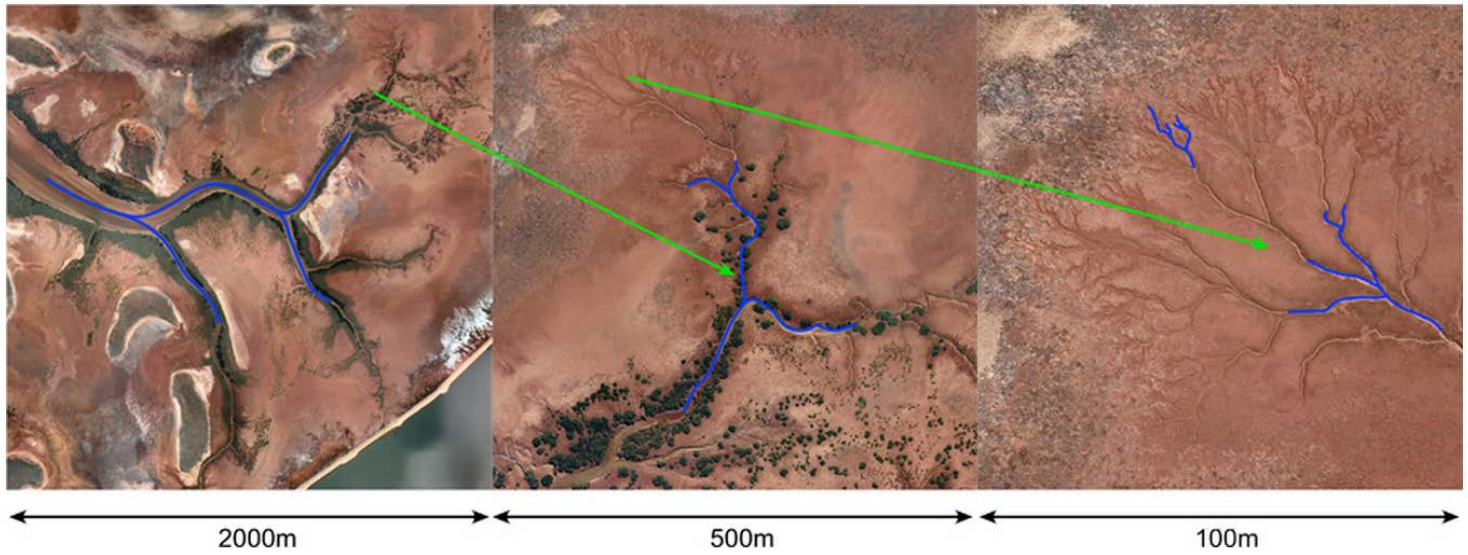
  http://paulbourke.net/fractals/googleearth/

  http://recursivedrawing.com/





自然界不是平滑的



分形树：自相似递归图形

- 自然现象中所具备的分形特性，使得计算机可以通过分形算法生成非常逼真的自然场景
- 分形是在不同尺度上都具有相似性的事物

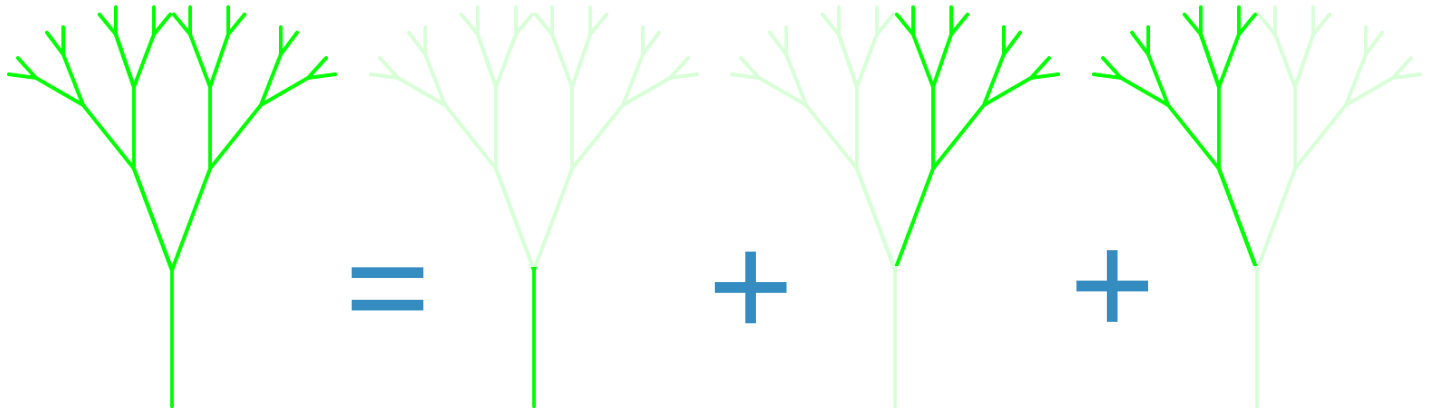
  我们能看出一棵树的每个分叉和每条树枝，实际上都具有整棵树的外形特征（也是逐步分叉的）



分形树：自相似递归图形

- 这样，我们可以把树分解为三个部分：树干、左边的小树、右边的小树

  分解后，正好符合递归的定义：对自身的调用



分形树：代码


```
1   import turtle
2
3
4   def tree(branch_len):
5       if branch_len > 5:   # 树干太短不画，即递归结束条件
6           t.forward(branch_len)   # 画树干
7           t.right(20)   # 右倾斜20度
8           tree(branch_len - 15)   # 递归调用，画右边的小树，树干减15
9           t.left(40)   # 向左回40度，即左倾斜20度
10          tree(branch_len - 15)   # 递归调用，画左边的小树，树干减15
11          t.right(20)   # 向右回20度，即回正
12          t.backward(branch_len)   # 海龟退回原位置
```

```
15  t = turtle.Turtle()
16  t.left(90)
17  t.penup()
18  t.backward(100)
19  t.pendown()
20  t.pencolor('green')
21  t.pensize(2)
22  tree(75)   # 画树干长度75的二叉树
23  t.hideturtle()
24  turtle.done()
```