



# 基于分形模型设计的导热材料分布优化



上海交通大學  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY





# PRP项目结题答辩

项目成员：韩生涛、余柏呈

指导老师：杨力老师

2020年9月21日



上海交通大学  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

研究背景

分形算法设计

传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望



研究背景

分形算法设计

传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望



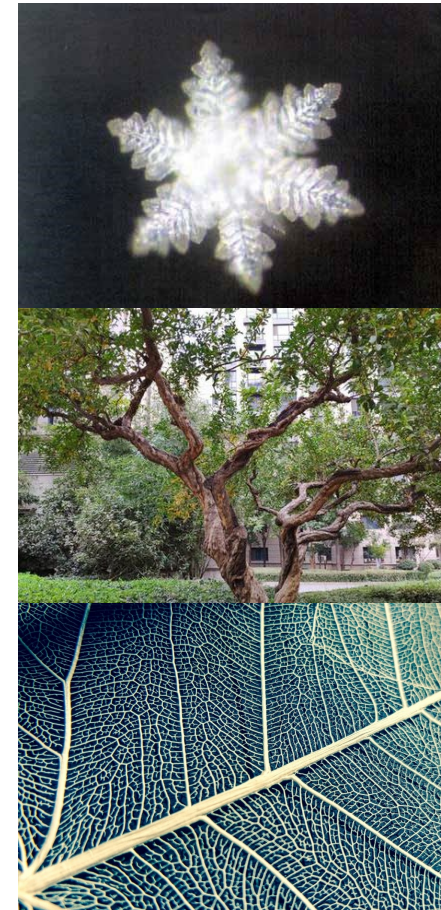
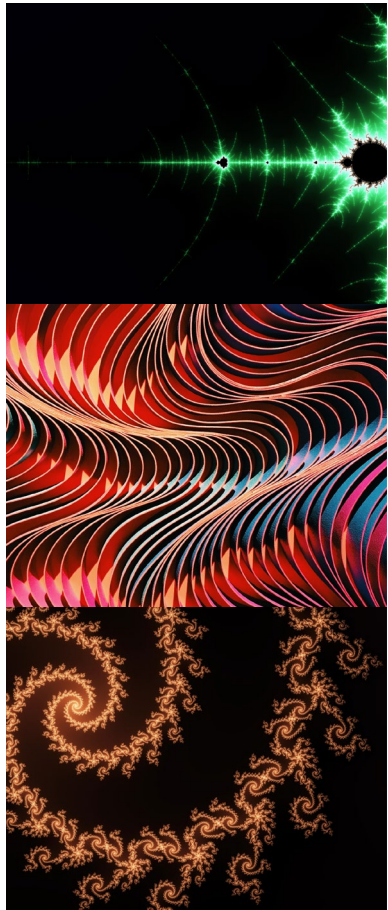


# 研究背景



## What's fractal?

- **分形** (Fractal)，原含义为不规则的，零散的
- 几何特征：  
具有以非整数维形式充填空间的形态特征
- 分形维数：  
豪斯多夫维数 (Hausdorff dimension)  
闵科夫斯基维数 (计盒维数)



# 研究背景



分形理论与混沌理论的联系:

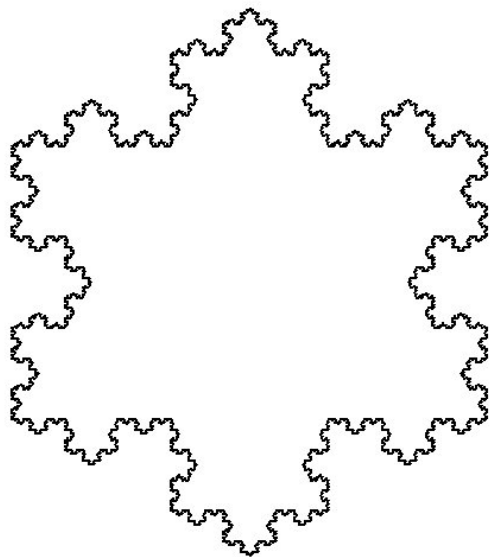
混沌是**时间上**的分形, 分形是**空间上**的混沌

分形特点:

1. 自相似性

2. 自仿射性

3. 精密结构



Koch雪花曲线

使用分数维度的视角和数学方法描述和研究客观事物, 更加趋近复杂系统的真实属性与状态的描述, 更加符合客观事物的多样性与复杂性, 因此分形几何被誉为大自然的几何学。

应用方向:

植物形态模拟与生长过程模拟

物理场形态表征研究 (湍流, 火焰等)

机械的疲劳, 摩擦

混沌控制, 混沌市场理论等

# 研究背景



拓扑优化 (topology optimization) :

根据给定的负载情况、约束条件和性能指标，在给定的区域内对材料分布进行优化的数学方法，是结构优化的一种。

可以看出图中具有分形的诸多特性。

逆向工程：

通过构建分形结构，逼近特定传热条件下最优传热结构。

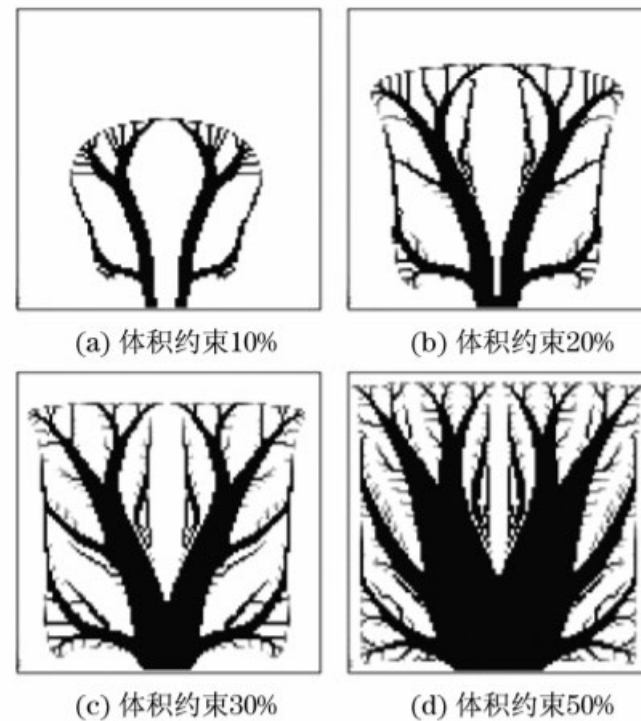


图6 不同体积约束下均匀生热率载荷 Dirichlet 边界的设计结果

图片来源：

《基于密度法的传热结构拓扑优化设计》  
上海理工大学 崔天福， 丁晓红， 侯丽园

研究背景

分形算法设计

传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望







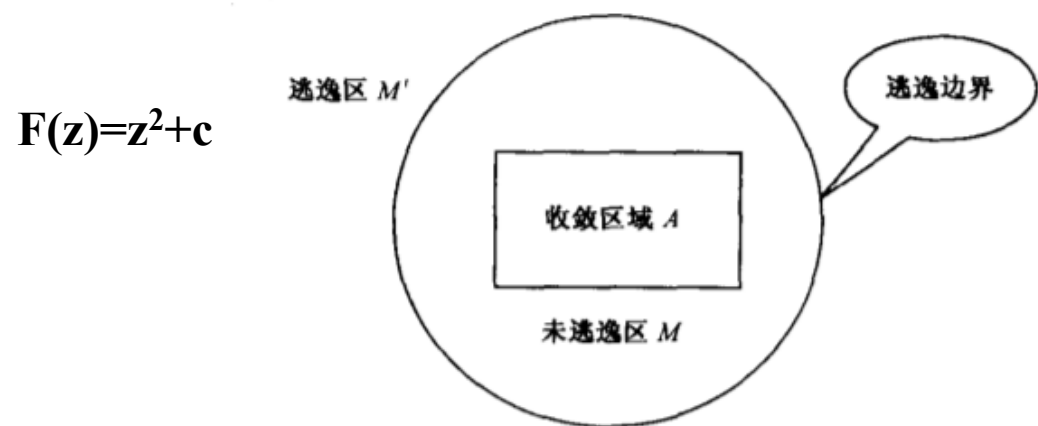
# 分形算法



逃逸时间算法

文法构图算法和迭代函数系统

吸引子



迭代生成

非线性系统

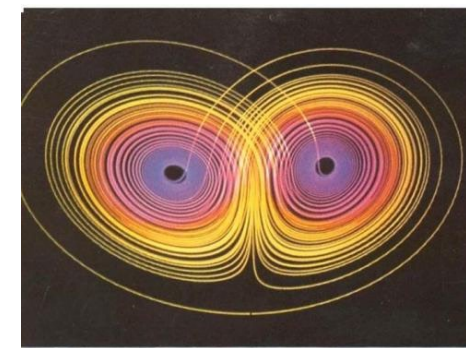
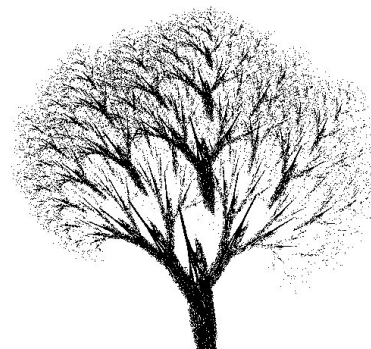
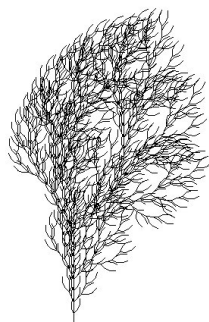
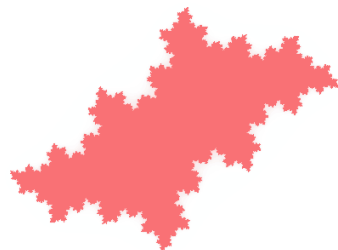
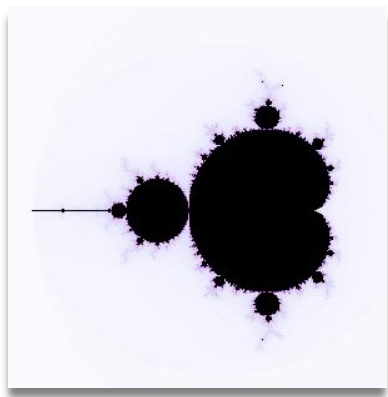
广义Mandelbrot集

广义Julia集

L-S文法

IFS迭代系统等

Lorenz吸引子等



# 分形算法



## L-S文法

迭代用字符与对应操作

初始生成元

字符迭代规则

基本位移长度

偏转角度

迭代次数

压缩率

图形

图案由连接线段组成

图案生成来自于迭代替换后的总字符串，

无连续参数，优化难度大

## IFS迭代系统

初始点（元素）

多个压缩仿射变换

概率权重

随机迭代算法

逃逸时间

图形

图案由不连续的点构成之间，不具有连续性

具有可连续优化参数

IFS算法产生的图案有粗细难以控制

出图概率较小，较混乱，生成规律暂不明确



# 分形算法



## L-IFS迭代系统

迭代用字符

仿射变换

初始生成元

字符迭代规则

基本位移长度

偏转角度

压缩率

迭代次数

图形



仿射变换





# 分形算法



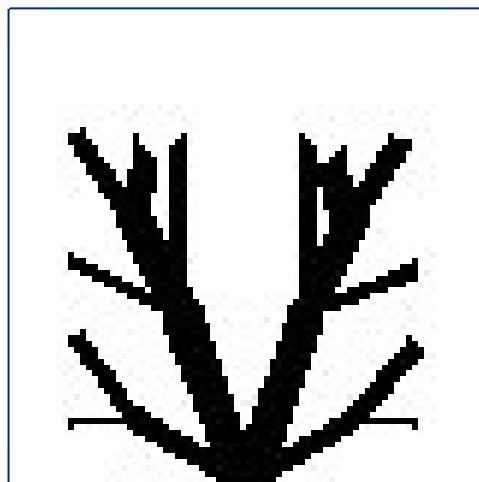
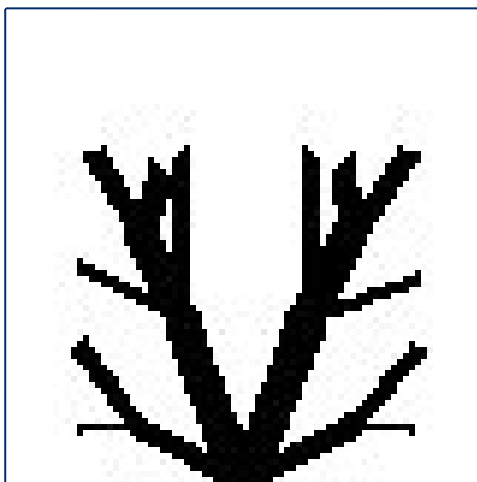
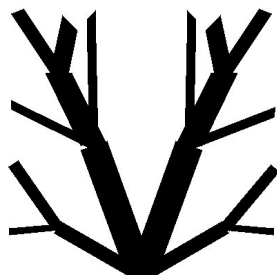
## 分形框架与生成图片

7个分叉点

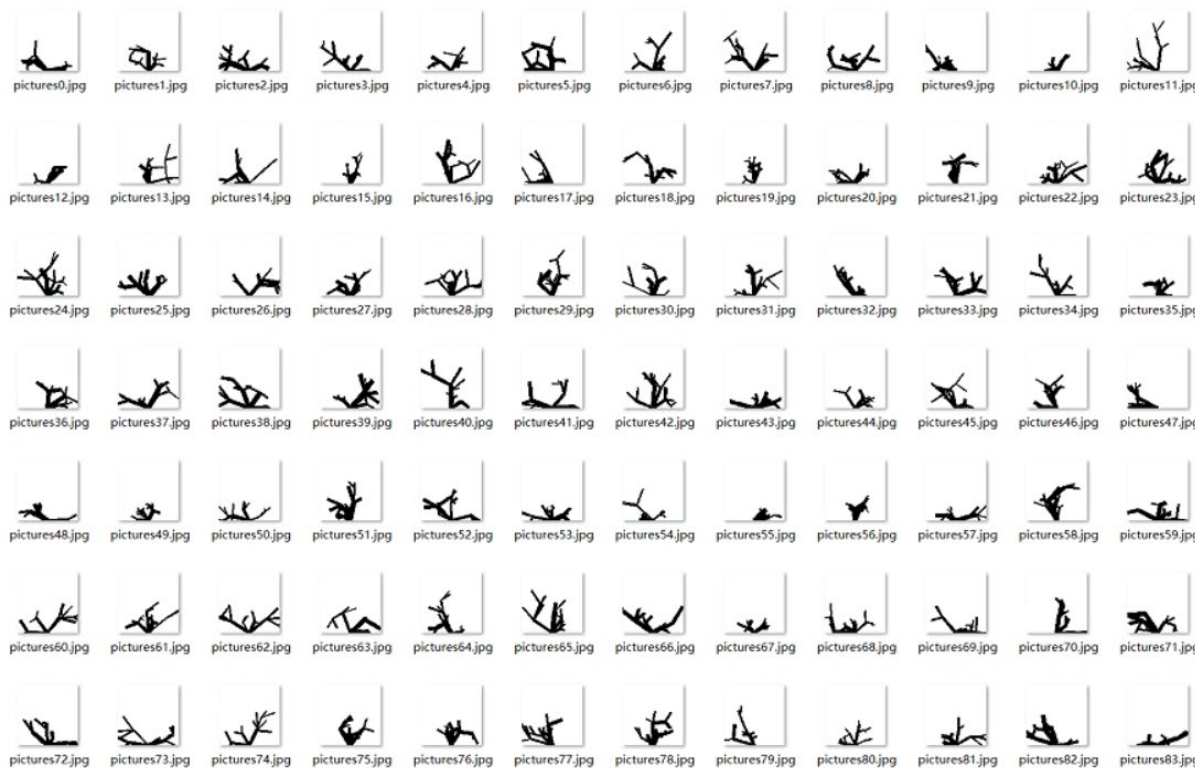
54个变形参数:

18个控制分支角度

36个控制变形比例系数



设置随机仿射变换参数



研究背景

分形算法设计

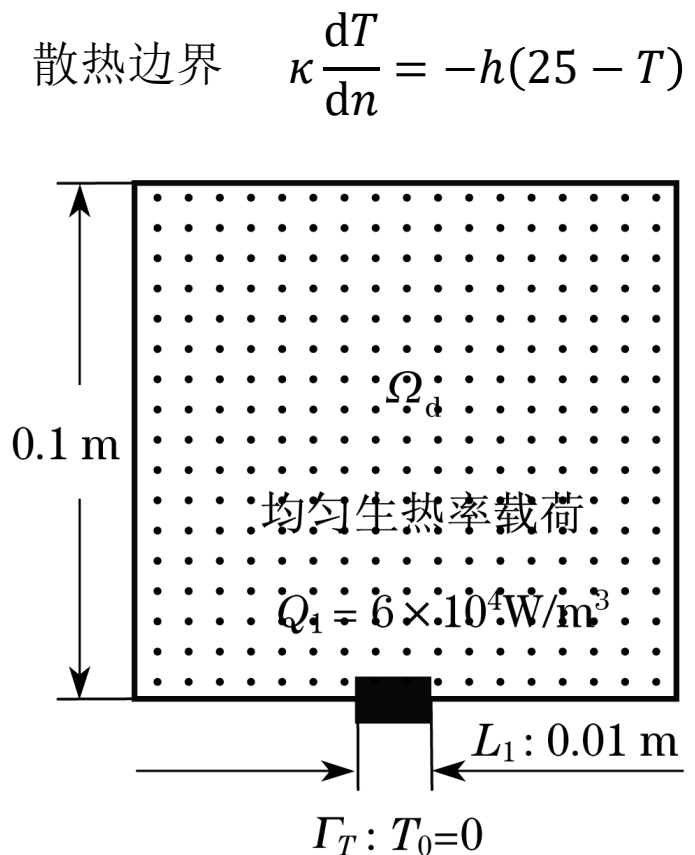
传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望



# 温度预测算法



传热问题的条件边界

- 研究问题：在设计区域 $\Omega_d$ 内有生热率载荷 $Q$ ，存在Dirichlet边界 $\Gamma_T$ ，边界温度为 $T_0$ ；存在Neumann边界 $\Gamma_q$ ，边界处热流密度为 $q$ 。系统所处的工作环境温度 $25^\circ\text{C}$ 。
- 优化问题：如何在区域 $\Omega_d$ 中布置一定体积分数的高导热材料，形成散热通道，将区域内的热量传送到边界。  
**需要设计算法计算设计区域内部的温度分布。**
- 傅里叶稳态热传导定律：
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q = 0$$
- 对微分方程进行差分后采用显示迭代的方式进行求解。



# 温度预测算法

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q = 0$$

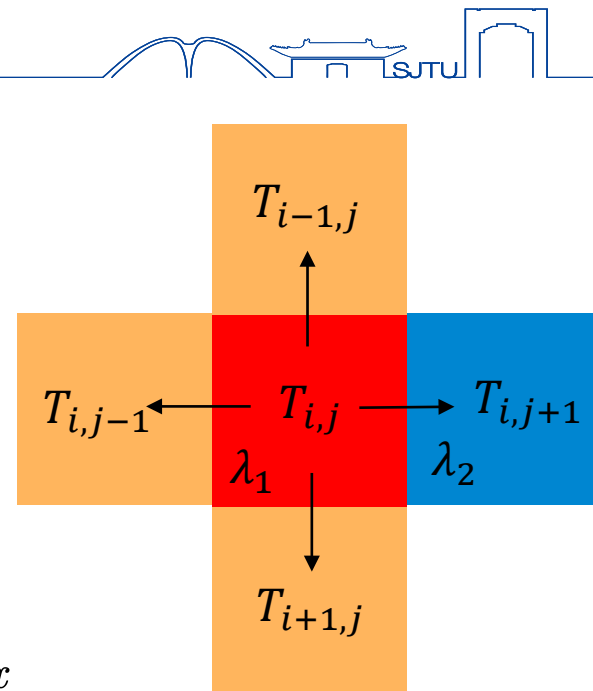
➤ 采用热平衡法对微分方程进行差分

对于内部节点:  $\sum \lambda_i \times T_{i,j} = \lambda_{i-1,j} T_{i-1,j} + \lambda_{i+1,j} T_{i+1,j} + \lambda_{i,j-1} T_{i,j-1} + \lambda_{i,j+1} T_{i,j+1} + Q \Delta x^2$

对于边界节点:  $\sum \lambda_i \times T_{i,j} = 2\lambda_{i,j-1} T_{i,j-1} + \lambda_{i+1,j} T_{i+1,j} + \lambda_{i-1,j} T_{i-1,j} + Q \Delta x^2 + 2\frac{q}{\lambda} \Delta x$

对于外角节点:  $\sum \lambda_i \times T_{i,j} = \lambda_{i,j-1} T_{i,j-1} + \lambda_{i-1,j} T_{i-1,j} + Q \Delta x^2 + 2\frac{q}{\lambda} \Delta x$

通过反复迭代可以得到最终结果

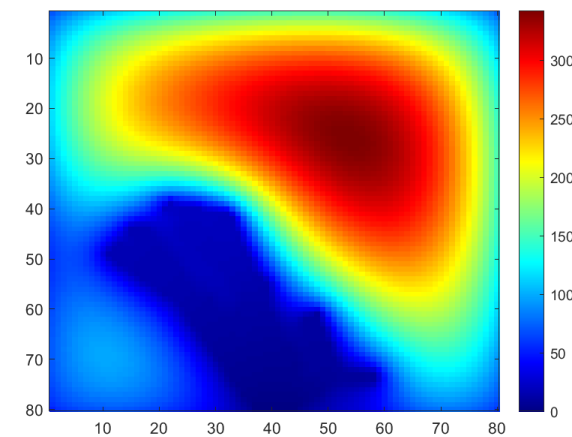
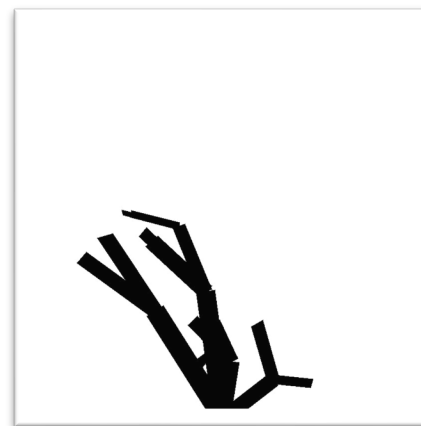
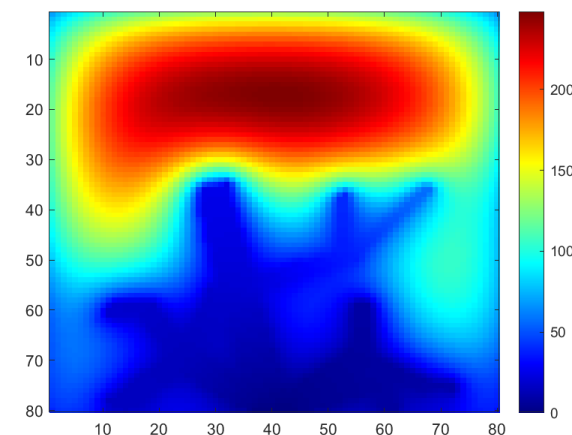
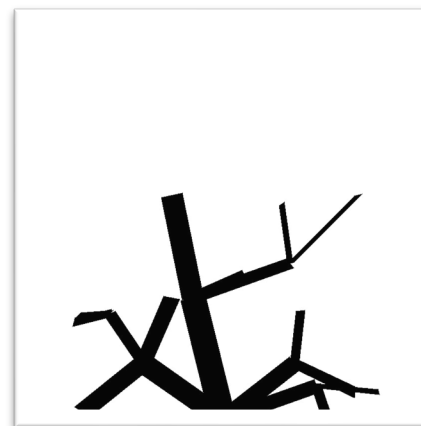
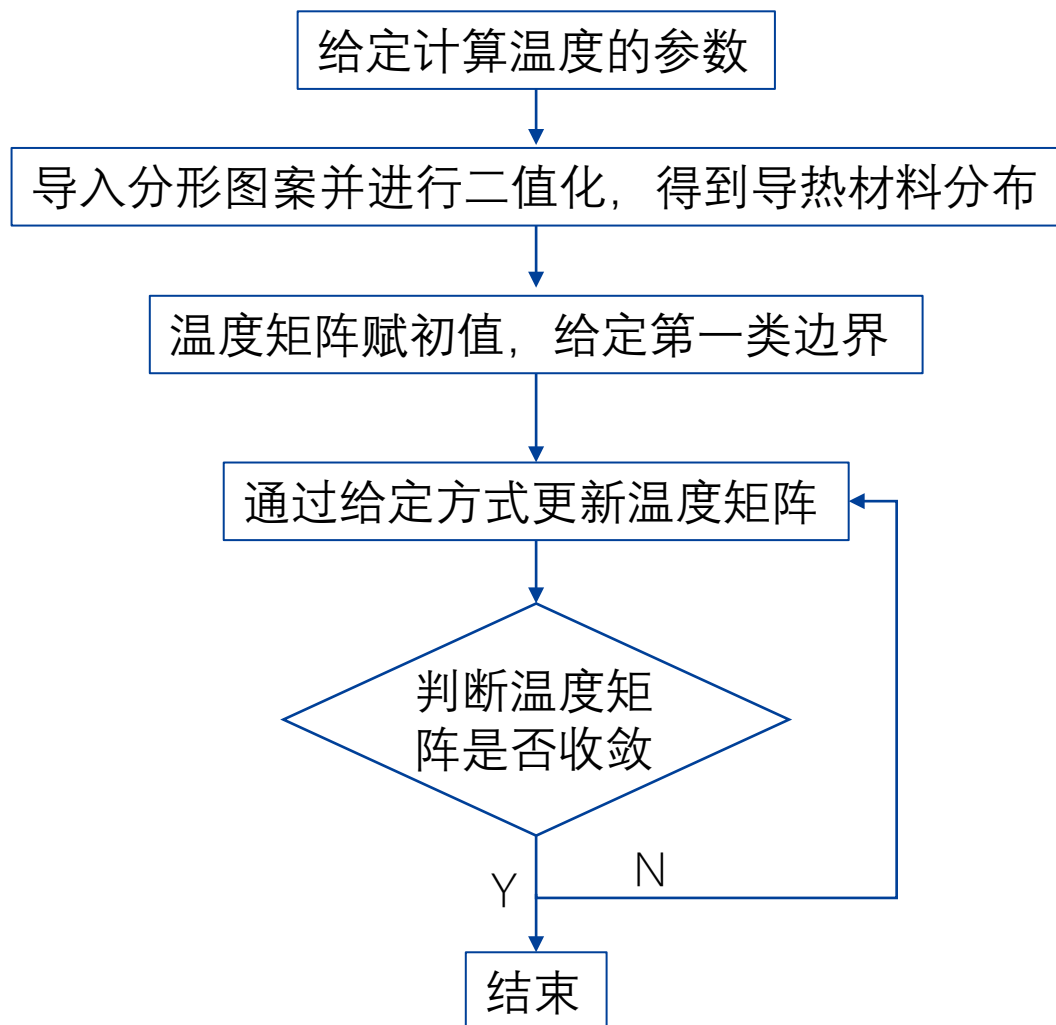


$$Q_{in} = Q \quad Q_{out} = \sum_{i=1}^4 Q_i$$

由电热阻性质:  $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$

$$\Rightarrow Q_i = \lambda_i (T_0 - T_i) h$$

# 算法设计



研究背景

分形算法设计

传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望



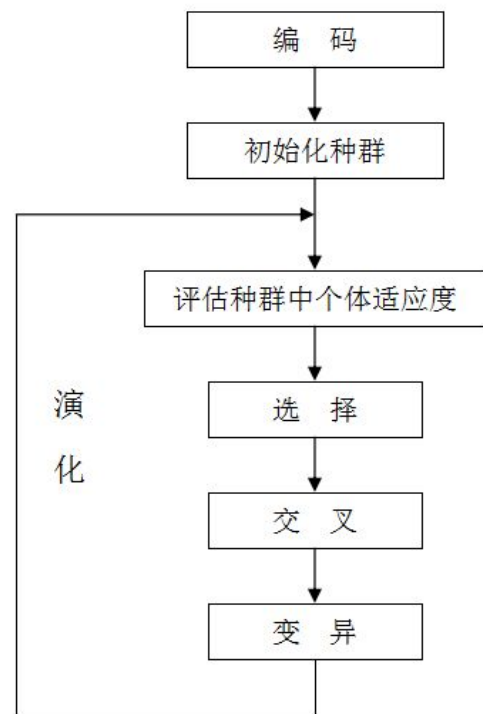


# 遗传算法优化



## 什么是遗传算法

- 遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是**模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理**的生物进化过程的计算模型，是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。
- 优点为直接对结构对象进行操作，不存在求导和函数连续性的限定；具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力；采用概率化的寻优方法，不需要确定的规则就能自动获取和指导优化的搜索空间，自适应地调整搜索方向。
- 遗传算法以一种群体中的所有个体为对象，并利用随机化技术指导对一个被编码的参数空间进行高效搜索。其中，**选择、交叉和变异**构成了遗传算法的遗传操作；**参数编码、初始群体的设定、适应度函数的设计、遗传操作设计、控制参数设定**五个要素组成了遗传算法的核心内容。

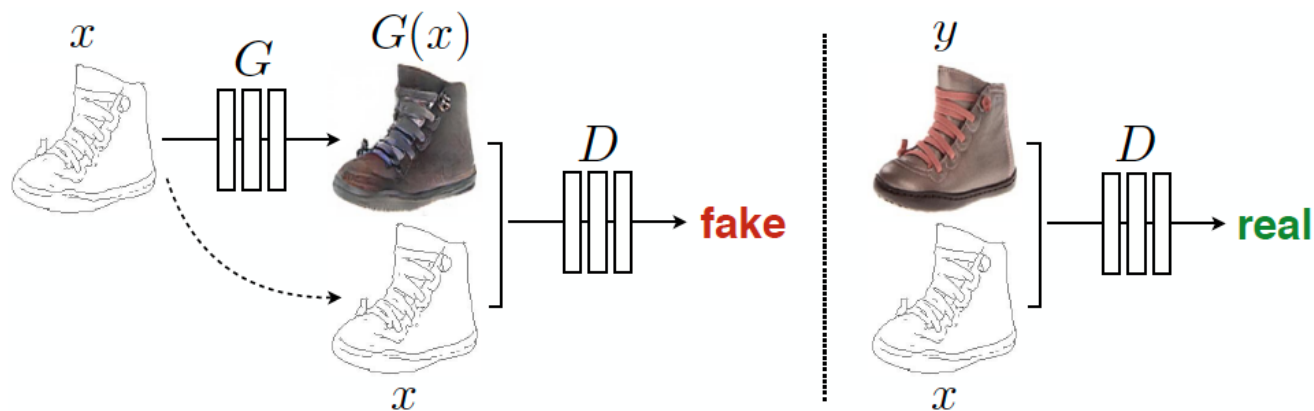


**需要可以快速计算分形图对应温度图的程序**

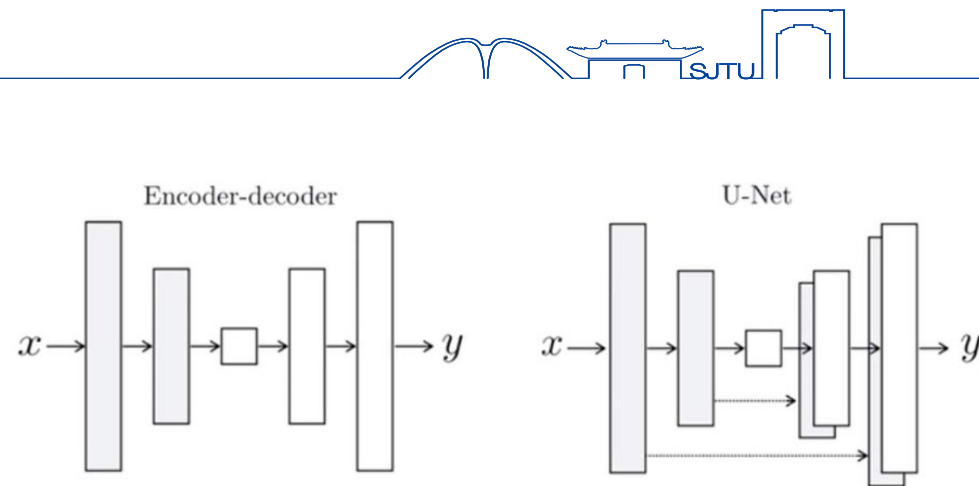
遗传算法流程

# pix2pix神经网络的运用

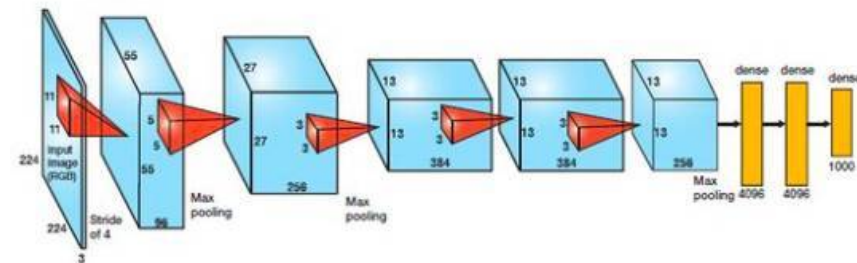
- pix2pix 神经网络是**生成对抗网络**（GAN）的一种，是cGAN的一个变体，能够实现从图像到图像的映射，在从标签映射合成照片、从边缘映射重建对象、图片上色等多类人物的表现较好，比较适合于监督学习。训练完成后，pix2pix可以将图像从A领域变换到B领域。



G是生成器，D是判别器



生成器网络构造方式



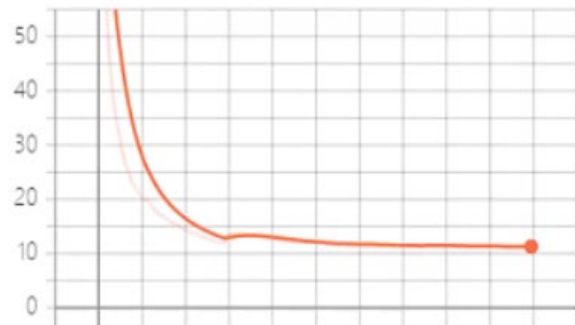
判别器网络构造方式



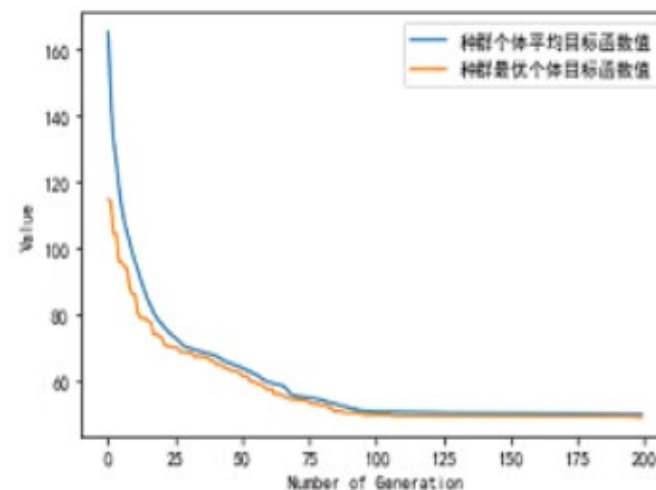
# 优化结果



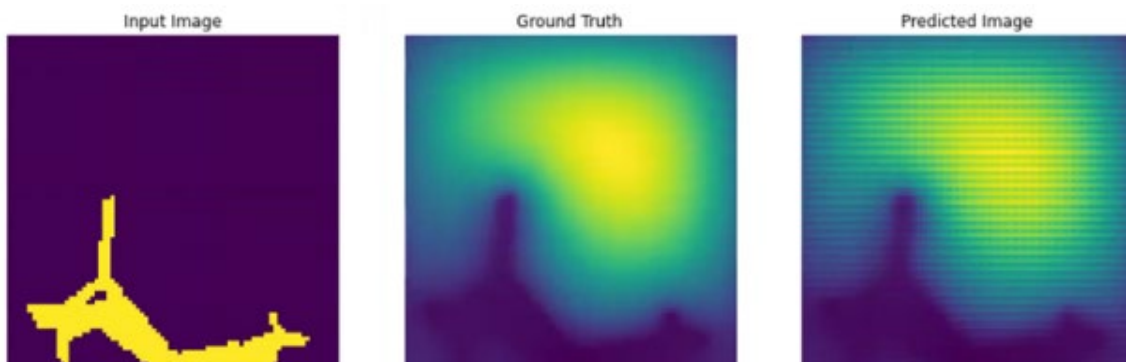
gen\_total\_loss\_test  
tag: gen\_total\_loss\_test



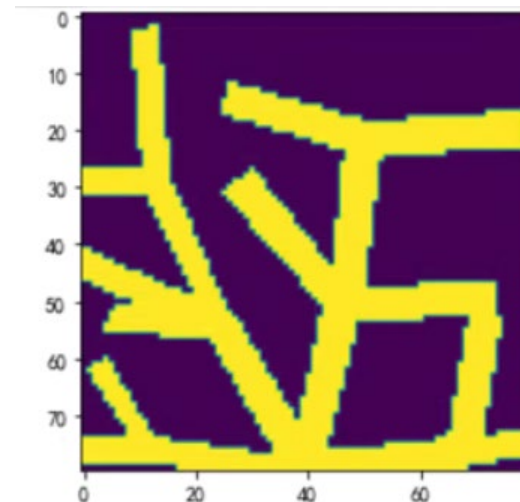
测试集预测表现



遗传算法误差曲线



pix2pix网络训练结果



训练结果



研究背景

分形算法设计

传热学计算

导热材料分布的优化

总结与展望



# 模型的优点与缺点



## Pros

## 优点

- 便于探索传热结构优化的区间
- 从分形的角度设计解释性好
- 具有工程学意义

## Cons

## 不足

- 缺少精细复杂的末梢分支结构
- 计算效率较低
- 所得结果并不一定是全局最优



# 展望



分形算法设计

传热模型算法

pix2pix网络与遗传算法

整体设计

动态更新

隐式迭代

超参数组合  
其他优化算法

集成泛化

谢谢观看  
THANKS FOR WATCHING

