

人工智能

——进化算法

王晓丽

计算机科学与技术学院 副教授

星期 课		月 周 期 日 次	三月				四月				五月					六月				七月			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
			1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19
			7	14	21	28	4/4	11	18	25	2/5	9	16	23	30	6/6	13	20	27	4/7	11	18	25
一	1—2						清明节				智	劳动节	智	智	智	智	智	端午节		期末考试			
	3—4																						
	5—6																						
	7—8																						
	晚																						
二	1—2									期中 考试	排课 调休									期末 考试			
	3—4																						
	5—6																						
	7—8																						
	晚													智	智	智							
三	1—2										期中 考试	排课 调休								期末 考试		国 际	
	3—4																						
	5—6																						
	7—8																						
	晚																						
四	1—2																		期末 考试	期末 考试		双 创 实 践	
	3—4																						
	5—6																						
	7—8																						
	晚																						
	1—2																		期	期			
	3—4																						

传统优化方法

$$\max f(x) = x^3 - 60x^2 + 900x + 100 \quad x \in [0, 30]$$

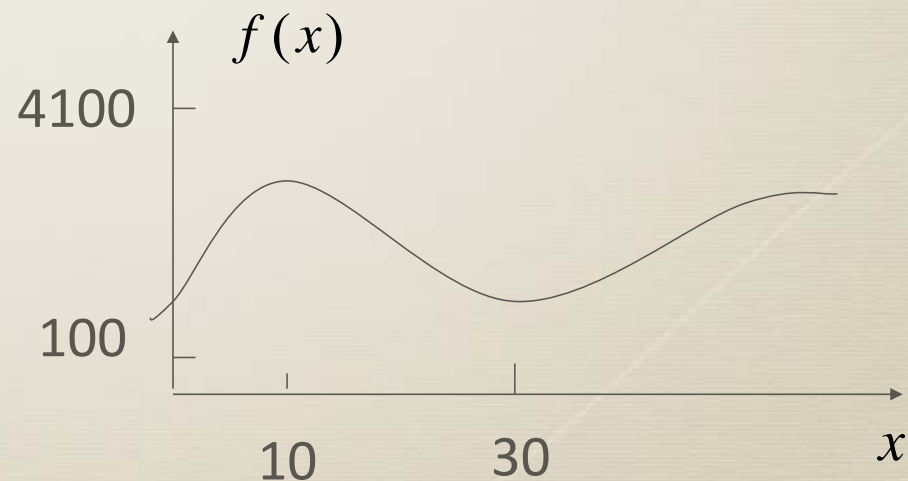
$$f'(x) = 3x^2 - 120x + 900 = 0$$

$$(x - 10)(x - 30) = 0$$

$$f''(x) = 6x - 120$$

$$x = 10, f''(x) < 0 \quad \text{最大值}$$

$$x = 30, f''(x) > 0 \quad \text{最小值}$$



传统优化方法

- 在**进化算法**出现之前已经出现的优化方法，我们暂时称它们为**传统优化方法**，它们求解问题的迭代步骤为：
- 给定一个初始点 x_0 ，令 $x_{k+1} = x_k + a_k d_k$ ，其中 d_k 为 $f(x)$ 在 x_k 处的一个下降方向， a_k 为搜索步长。
 - 取不同的 d_k ，就会产生不同的算法。通常要用 $f(x)$ 的梯度信息。

传统优化方法

➤ 上世纪60-90年代，传统优化方法得到了很大的发展，涌现出了很多新方法，如：

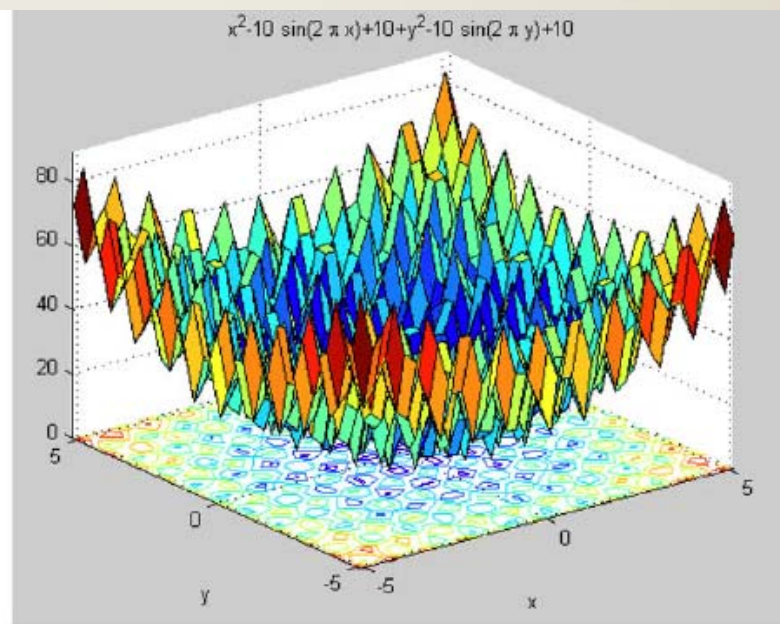
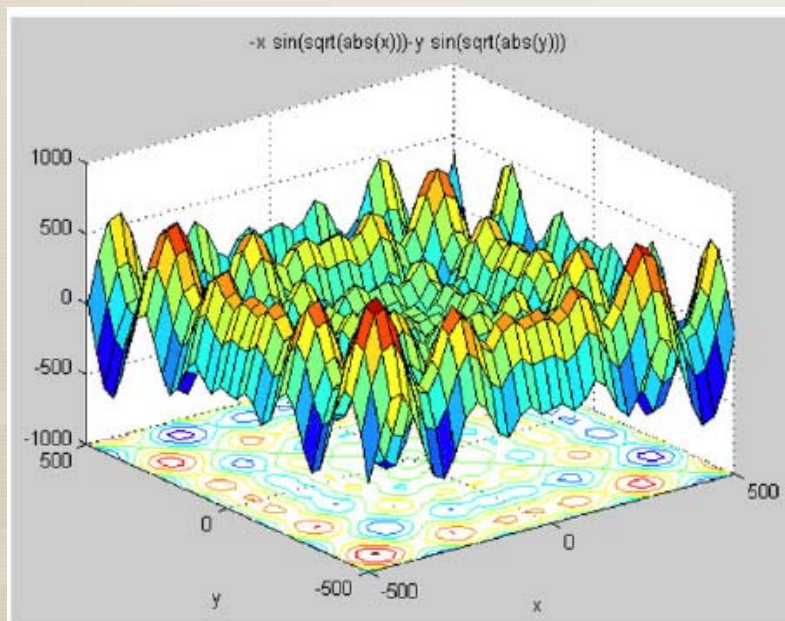
- 最速下降法
- 拟牛顿法
- 共轭梯度法
- 投影梯度法

➤ 这些方法对解决实际优化问题起到了很大的作用，具有如下**优点**：

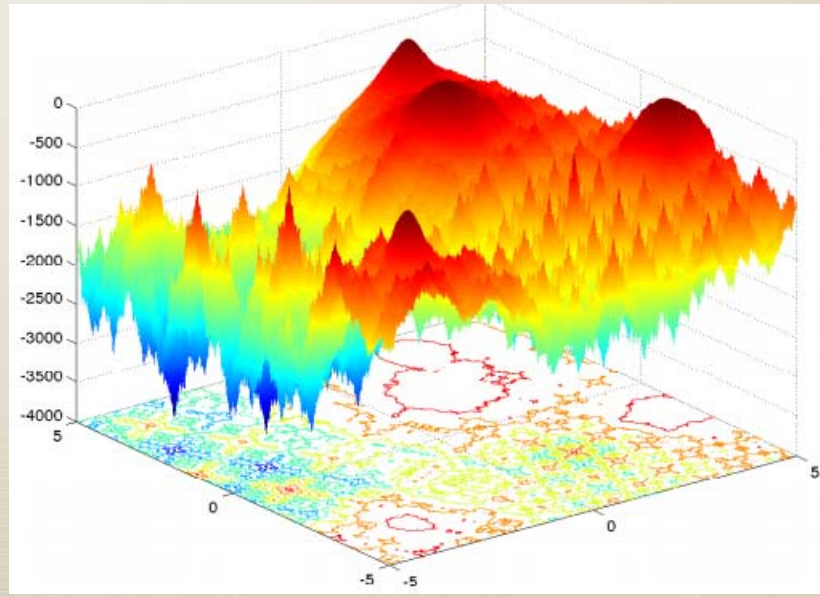
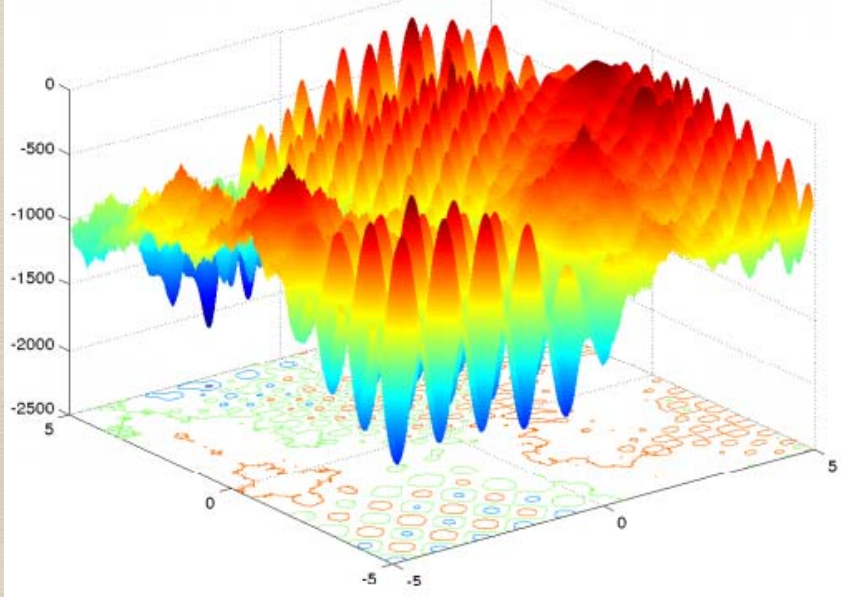
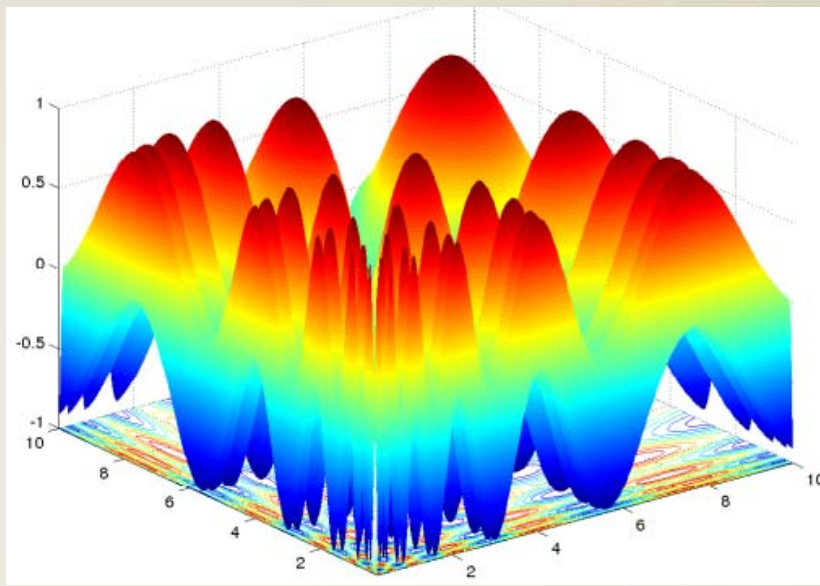
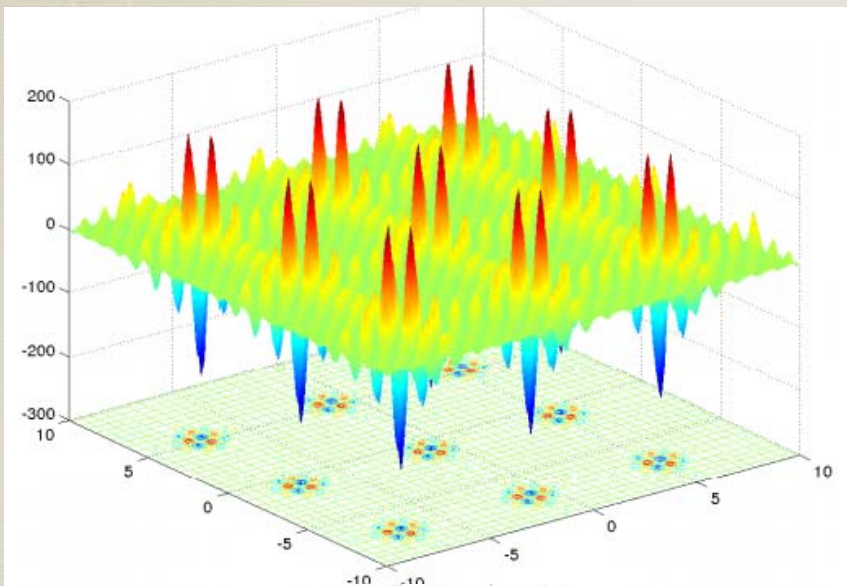
- **收敛速度快**
- **效率高**

传统优化方法的局限性

- 但这些传统优化方法也存在以下缺点：
- 需要用到函数的导数，而这些导数信息是由极限确定的，只能反映相关函数的局部特性，不可能反映距离当前解较远处函数的特征，因此，利用导数构造出的算法通常难以求出函数的全局最优解，往往只能求出局部最小值点（局部最优解）。而大量实际问题要求全局最优解。



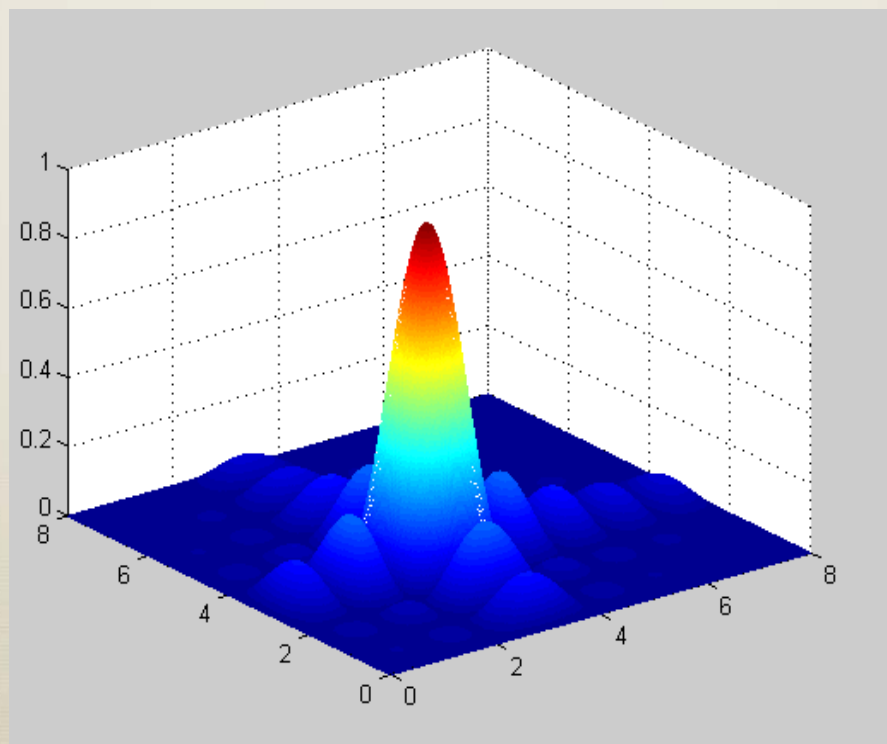
传统优化方法的局限性



传统优化方法的局限性

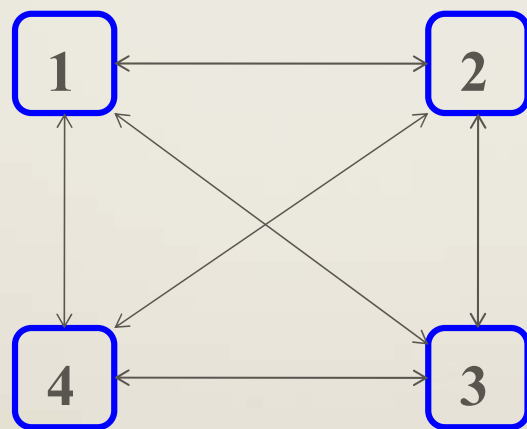
- 对函数的一阶导数、二阶导数等信息不容易求得或无法求得的实际问题，传统优化方法**无法使用**。

求函数: $f(x,y) = \left| \frac{\sin(\pi(x-3))}{\pi(x-3)} \right| \cdot \left| \frac{\sin(\pi(y-3))}{\pi(y-3)} \right|$ 的极值。



传统优化方法的局限性

货郎担问题(Travelling Salesman Problem, 简记为TSP): 设有 n 个城市, 城市 i 和城市 j 之间的距离为 $d(i,j)$ 。TSP问题是寻找最短的一条回路, 要求该回路能够遍访每个城市且每个城市仅访问一次。



如果有 n 个城市, 共有多少种可能的解?

传统优化方法的局限性

货郎担问题(Travelling Salesman Problem, 简记为TSP): 设有 n 个城市, 城市 i 和城市 j 之间的距离为 $d(i,j)$ 。TSP问题是寻找最短的一条回路, 要求该回路能够遍访每个城市且每个城市仅访问一次。

TSP问题可以表述为:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} d(C_i, C_{i+1}) + d(C_n, C_1) \right\}$$

其中 $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ 是 $1, 2, 3, \dots, n$ 的一个全排列。

进化算法

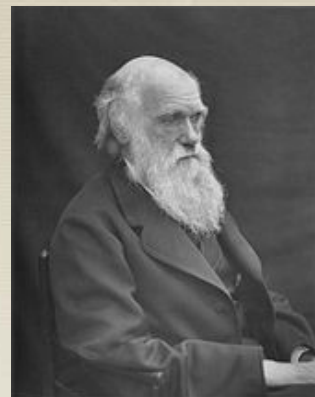
- 进化算法就是为了克服传统优化方法的缺点而设计的一类算法。
- 它研究的问题是：函数的导数不存在或无法求得，要求函数的全局最优解的问题。
- 它是对传统优化方法的一种补充，而不是替代。

进化算法

□ 进化算法是模拟生物进化与遗传原理而设计的一类随机搜索的优化算法（属于不确定优化方法）。

□ 进化算法是以达尔文的进化论为基础，基本思想是：自然界的进化是一个优胜劣汰、适者生存的最优化过程。如果在算法设计过程中能模仿自然界的进化过程，也许会构造出好的优化算法。进化算法就是这种背景下产生的。

进化算法



□ 达尔文的进化论可以描述为：

- ✓ 在一个**资源有限的、种群稳定**的世界中，每个生物个体都会与其他生物个体为了生存而竞争。拥有优良性状的个体会更加容易获得**生存和繁殖**的机会，它的性状也更易于传给后代。这些优良性状被下一代继承，经过一段时间便成为种群中的主要性状。
- ✓ 在幼年生物体的发育过程中，随机事件会导致幼年生物体性状的**随机改变**。如果新出现的性状有益于生物体，则该生物体获得生存的概率会有所提高。

进化算法



□ 现代遗传学的奠基人：孟德尔

- ✓ 在1857年，孟德尔通过对植物进行一系列仔细的实验发现植物的父母单独地把自身的性状传递给子代。
- ✓ 至关重要的是，他还发现性状不是单纯地混合在一起，而是保持着独立性：一株高的植物和一株矮的植物繁殖出来的后代要么是高的，要么是矮的，而不是介于两者之间。表明性状是分开独立地遗传给下一代，后来这称为**遗传基因**。

进化算法

□ 新达尔文主义

- ✓ 在将达尔文进化论和孟德尔-摩根基因相结合，成为现被广泛接受的新达尔文主义。
- ✓ 新达尔文主义认为，只用种群上和物种内的少量统计过程就可以充分地解释大多数生命历史，这些过程就是繁殖、变异、竞争、选择。

□ 如何将进化的过程抽象出来，建立一个优化模型，设计一种优化方法，并利用计算机来模拟这个过程，就是进化算法需要解决的问题。

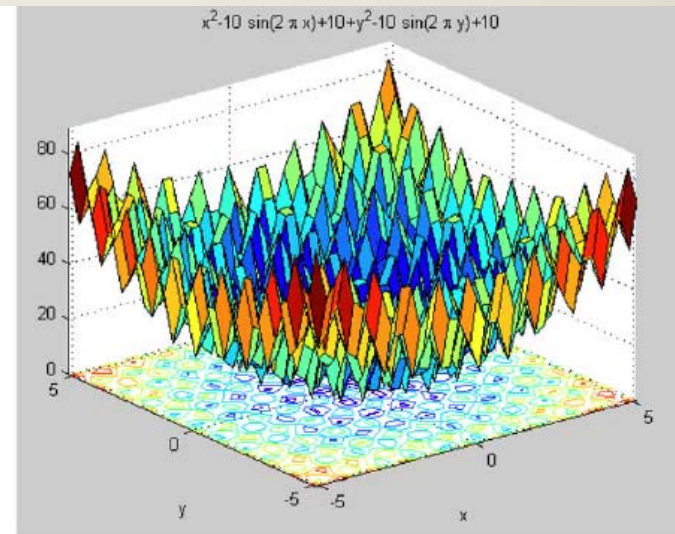
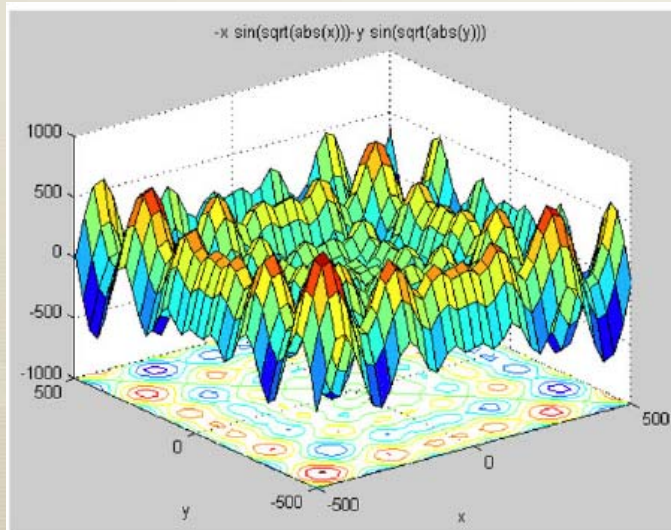
进化算法

- 进化算法的迭代形式不像传统优化方法那样从一个点 x_k 到另一个点 $x_{k+1} = x_k + a_k d_k$ 移动，而是从一群点 $pop(k) = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k\}$ ，通过进化算子移动到另一群点 $pop(k+1) = \{x_1^{k+1}, x_2^{k+1}, \dots, x_N^{k+1}\}$ 。

进化算法

□ 进化算法的特点：

- 形象的讲，进化算法就是**并行地**搜索多个山谷，因而往往可以求出全局最优点。（袋鼠找山顶）
- 进化算法**不需要目标函数的连续、可微**等条件，只利用适应度函数的信息（它可以由目标函数确定），因而可以用于不可微、不连续的复杂优化问题（包含许多局部最优解的优化问题）



进化算法

- 注意：整个群体的进化过程可以看成是一个优化过程，但单个个体的进化轨迹未必是一个优化过程。
- 例如：对于整个人类而言，随着时间的推移，会越来越聪明和简单，但对单个人而言，其后代未必比其祖先更聪明和健康。

进化模拟器



进化算法的分支

□ 进化算法的4个经典分支为：

- ✓ 遗传算法 Genetic Algorithm, GA
- ✓ 进化策略 Evolution Strategies, ES
- ✓ 进化规划 Evolution Programming, EP
- ✓ 遗传程序设计 Genetic Programming, GP

进化算法的分支

- 这4个分支有很多相似之处，他们的算法框架可以统一描述为：
- 步骤1：产生初始种群 $p(0) = \{x_1, \dots, x_N\}$ ，令 $t=0$ 。
- 步骤2：计算 $p(t)$ 中每个个体的适应度来评价个体的优劣。
- 步骤3：用进化算子产生新一代群体 $p(t+1)$ ，令 $t=t+1$ 。
- 步骤3：若终止条件成立，停止；否则，转步骤2。

总结

□ 进化算法现状：

- 理论不完善，缺乏完整的理论体系。
- 算法的效率不高

□ 进化算法趋势：

- 传统的四大分支的界限和区别越来越不明显；一个算法可能同时具有几个分支的特点。
- 新的计算模型不断涌现

总结

□ 新模型:

- PSO: Particle Swarm Optimization 粒子群优化
- ACO: Ant Colony Optimization 蚁群优化
- CAs: Cultural Algorithms 文化算法
- ICA: Immune and colon Algorithms 免疫与克隆
- DE: Differential Evolution 差分进化
- Co-evolution Algorithms 协同进化
- Decomposition-based Algorithms 基于分解的算法

总结

□ 新模型：

- Population migration algorithm 人口迁移算法
- Firefly algorithm 萤火虫算法
- Cuckoo search 布谷鸟算法
- Bat algorithm 蝙蝠算法
- Bacterial foraging algorithm 细菌觅食算法
- Artificial fish swarm algorithm 人工鱼群算法