**1蚁群算法的起源和发展历程**

20世纪50年代中期创立了仿生学，人们从生物进化的机理中受到启发。提出了许多用以解决复杂优化问题的新方法，如进化规划、进化策略、遗传算法等，这些算法成功地解决了一些实际问题。90年代Dorigo最早提出了蚁群优化算法---蚂蚁系统（Ant System, AS）并将其应用于解决计算机算法学中经典的旅行商问题（TSP）。从蚂蚁系统开始，基本的蚁群算法得到了不断的发展和完善，并在TSP以及许多实际优化问题求解中进一步得到了验证。这些AS改进版本的一个共同点就是增强了蚂蚁搜索过程中对最优解的探索能力，它们之间的差异仅在于搜索控制策略方面。而且，取得了最佳结果的ACO(Ant Colony Optimization)是通过引入局部搜索算法实现的，这实际上是一些结合了标准局域搜索算法的混合型概率搜索算法，有利于提高蚁群各级系统在优化问题中的求解质量。

蚂蚁是一种社会性昆虫，相互之间有简单的信息传递。蚁群的觅食行为引起了研究者的注意，因为蚂蚁有能力在没有任何可见的提示下，总能找到蚁穴到食物源的最短路径，甚至能根据环境的变化（如遇到障碍物等）而动态的选择新的最短路径。蚂蚁在很多环境下还能完成远远超过个体能力的复杂任务，体现出较高的智慧水平。其中的关键在于虽然蚂蚁不靠视觉进行生命活动，但是在运动过程中能分泌一种叫信息素的化学物质，其他蚂蚁在于东过程中能够感知这种物质存在并且根据信息素浓度大小进行路径选择，一般蚂蚁倾向于选择浓度高的路径，在这个过程中还会以一定的小概率“失误”选择其他信息素浓度不高的路径，这种规则可以避免因大部分蚂蚁选择相对较短路径而不再进行更短路径探索的问题。可见，蚂蚁通过这种信息素传递来进行交流完成一件件的复杂任务，也促进了蚂蚁种群的发展壮大。

一个简单的例子，如果现在有两条通往食物的路径，一条较长路径A,一条较短路径B,虽然刚开始A,B路径上都有蚂蚁，又因为B比A短，蚂蚁通过B花费的时间较短，随着时间的推移和信息素的挥发，逐渐的B上的信息素浓度会强于A，这时候因为B的浓度比A强，越来越多多蚂蚁会选择B，而这时候B上的浓度只会越来越强。如果蚂蚁一开始只在A上呢，注意蚂蚁的移动具有一定小概率的随机性，所以当一部分蚂蚁找到B时，随着时间的推移，蚂蚁会收敛到B上，从而可以跳出局部最优。

在蚁群算法发展过程中，最主要的成就是解决了著名的NP-hard问题——旅行商问题。之后，提出者及许多研究者对该算法作了各种改进，将其应用于更为广泛的领域，如图着色问题、二次分配问题、工件排序问题、车辆路径问题、车间作业调度问题、网络路由问题、大规模集成电路设计等。近些年来，M.Dorigo等人把蚂蚁算法进一步发展成一种通用的优化技术“蚁群优化（Ant Colony Optimization,简称ACO）”，并将所有符合ACO框架的算法称为“蚁群优化算法（ACO algorithm）”。虽然研究时间不长，但是现在的研究显示出，蚁群算法在求解复杂优化问题（特别是离散优化问题）方面有一定优势，表明它是一种有发展前景的算法．

**2.蚁群算法的求解原理**

蚁群算法是对自然界蚂蚁的寻径方式进行模似而得出的一种仿生算法。蚂蚁在运动过程中，能够在它所经过的路径上留下一种称之为外激素(pheromone)的物质进行信息传递，而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质，并以此指导自己的运动方向，因此由大量蚂蚁组成的蚁群集体行为便表现出一种信息正反馈现象：某一路径上走过的蚂蚁越多，则后来者选择该路径的概率就越大。

蚁群算法进行使用前，提出人工蚁的概念，一方面是对真实蚂蚁行为特征的抽象表示，保留着蚂蚁觅食行为中最关键的部分；另一方面是真是蚂蚁不具有的特征如人工蚁具有记忆能力，信息素的更新方式与实际解决问题有关。基于蚁群的觅食行为，该算法主要对觅食行为进的以下几个方面进行模拟：

（1）模拟的图场景中包含了两种信息素，一种表示巢穴，一种表示食物的地点，并且这两种信息素都在以一定的速率进行挥发。

（2） 每个蚂蚁只能感知它周围的小部分地方的信息。蚂蚁在寻找食物的时候，如果在感知范围内，就可以直接过去，如果不在感知范围内，就要朝着信息素多的地方走，蚂蚁可以有一个小概率不往信息素多的地方走，而另辟蹊径，这个小概率事件很重要，代表了一种找路的创新，对于找到更优的解很重要。

（3）蚂蚁回窝的规则与找食物的规则相同。

（4）蚂蚁在移动时候首先会根据信息素的指引，如果没有信息素的指引，会按照自己的移动方向惯性走下去，但也有一定的机率改变方向，蚂蚁还可以记住已经走过的路，避免重复走一个地方。

（5）蚂蚁在找到食物时留下的信息素最多，然后距离食物越远的地方留下的信息素越少。找到窝的信息素留下的量的规则跟食物相同。

下面以一个简化的蚂蚁寻食过程来进行说明：



图2-1. 第一次指派蚂蚁

蚂蚁从A点出发，速度相同，食物在D点，可能随机选择路线ABD或ACD。假设初始时每条分配路线一只蚂蚁，每个时间单位行走一步，本图为经过9个时间单位时的情形：走ABD的蚂蚁到达终点，而走ACD的蚂蚁刚好走到C点，为一半路程(如图2-1）。

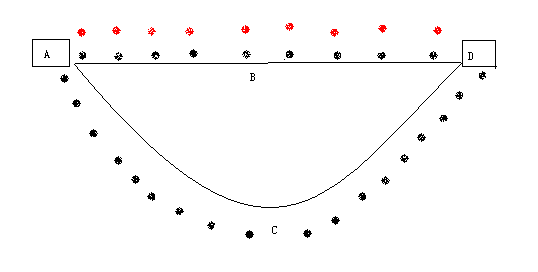


图2-2. 经过18时间单位后的蚂蚁状态

本图为从开始算起，经过18个时间单位时的情形：走ABD的蚂蚁到达终点后得到食物又返回了起点A，而走ACD的蚂蚁刚好走到D点（见图2-2）。

假设蚂蚁每经过一处所留下的信息素为一个单位，则经过36个时间单位后，所有开始一起出发的蚂蚁都经过不同路径从D点取得了食物，此时ABD的路线往返了2趟，每一处的信息素为4个单位，而 ACD的路线往返了一趟，每一处的信息素为2个单位，其比值为2：1。

寻找食物的过程继续进行，则按信息素的指导，蚁群在ABD路线上增派一只蚂蚁（共2只），而ACD路线上仍然为一只蚂蚁。再经过36个时间单位后，两条线路上的信息素单位积累为12和4，比值为3：1。

若按以上规则继续，蚁群在ABD路线上再增派一只蚂蚁（共3只），而ACD路线上仍然为一只蚂蚁。再经过36个时间单位后，两条线路上的信息素单位积累为24和6，比值为4：1。

若继续进行，则按信息素的指导，最终所有的蚂蚁会放弃ACD路线，而都选择ABD路线。这也就是前面所提到的正反馈效应。

1. **蚁群算法求解步骤**

蚂蚁在循环中，在经过的路上释放信息素，概率地选择下一个移动的方向或目标，这个概率是信息素和启发式因子的函数。蚂蚁在依次循环中不允许访问已经访问过的目标。开始时对所有蚂蚁进行初始化（如设定蚂蚁数量、蚂蚁最大信息素量、启发式因子系数和信息素挥发系数等）。之后蚂蚁开始搜索过程，根据目标函数对每只蚂蚁的适应度做出评价，并判断是否满足终止条件。若满足，程序结束；若不满足，计时器增加一个单位时间。根据适应度对蚂蚁所经过的路径按照一定的比例释放信息素，适应度越高，释放的信息素越高，下一次蚂蚁进入循环时根据信息素和启发式信息来选择移动方向。

**1.初始化参数**

在计算之初，需要对相关参数进行初始化，如蚁群规模（蚂蚁数量）m、信息素重要程度因子α、启发函数重要程度因子β、信息素会发银子ρ、信息素释放总量Q、最大迭代次数iter\_max、迭代次数初值iter=1。

**2.构建解空间**

将各个蚂蚁随机地置于不同的出发点，对每个蚂蚁k（k=1,2,3…m），按照（2-1）计算其下一个待访问城市，直到所有蚂蚁访问完所有城市。

**3.更新信息苏**

计算每个蚂蚁经过路径长度Lk(k=1,2,…，m），记录当前迭代次数中的最优解（最短路径）。同时，根据式（2-2）和（2-3）对各个城市连接路径上信息素浓度进行更新。

**4.判断是否终止**

若iter<iter\_max，则令iter=iter+1,清空蚂蚁经过路径的记录表，并返回步骤2；否则，终止计算，输出最优解。

蚁群算法有以下几个特点:正反馈算法、并发性算法、较强的鲁棒性、概率型全局搜索、不依赖严格的数学性质、搜索时间长，易出现停止现象。以TSP问题中蚁群算法流程为例，简单蚁群算法流程图如图3-1所示。

N

**随机产生初始城市**

**添加蚂蚁至该城市**

**Tabu已满？**

**更新路径，更新信息素N++**

N>Ncmax?

**结束，输出结果**

**开始**

**移动蚂蚁至下一个城市**

**初始化**

Y

Y

N

更新Tabu

根据轮盘赌法选择下一个城市

使用rand产生随机函数

根据公式（3-2）更新信息素

图3-1

在蚁群系统中，状态转移概率计算公式如下：



（3-1）

公式中：是蚂蚁k从城市i转移到j的概率；α，β分别为信息素和启发式因子的相对重要程度；为边（i，j）上的信息素量；为启发式因子；为蚂蚁k下步允许选择的城市。

上述公式即为蚂蚁系统中的信息素更新公式，是边（i,j)上的信息素量；ρ是信息素蒸发系数，0<ρ<1;为第k只蚂蚁在本次迭代中留在边（i,j）上的信息素量；Q为一正常系数；为第k只蚂蚁在本次周游中的路径长度。

在蚂蚁系统中，信息素更新公式为：



，0<ρ<1 （3-2）

针对蚂蚁释放的信息素问题， M.Dorigo等人曾经给出过三种模型，分别称之为ant cycle system模型、ant quality system模型和ant density system模型，其公式如下:

1. ant cycle system模型



，第k只蚂蚁从城市i访问城市j

（3-3）

，其他

2.ant quality system模型



，第k只蚂蚁从城市i访问城市j

，其他 （3-4）

3.ant density system模型

,第k只蚂蚁从城市i访问城市j



,其他 （3-5）

上述模型中，ant cycle system模型利用蚂蚁经过路径的整体信息（经过路径的总长）计算释放的信息素浓度；ant quality system模型则利用蚂蚁经过路径的局部信息（经过各个城市间的距离）计算释放的信息素浓度；最后ant density system模型将信息素浓度设为恒值，没有考虑到蚂蚁经过不同路径长度的影响。因此一般选用ant cycle system模型计算释放的信息素浓度，即路径越短，信息素浓度越高。M.Dorigo在求解30个城市的TSP时发现，当α={0.5，1}，β={1,2,3,4,5}时，AS算法总能收敛到最优解，并且当蚂蚁数ｍ接近城市数n时，算法有较好的性能。

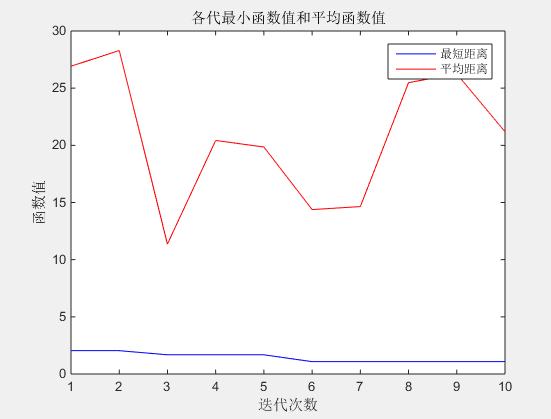
1. **简单案例--解决二元函数优化问题**

例如：

一般情况下，蚁群算法适合解决此类离散变量的函数优化问题，本题中x1和x2均以离散点形式出现，故可以用蚁群算法解决。

解决步骤：

1. 变量初始化，包括迭代次数、蚂蚁数量、信息素挥发系数、信息素初始浓度、自变量赋值
2. 外循环设置，循环控制条件、城市选择方式、蚂蚁选择方式等
3. 满足迭代终止条件后输出结果



可以看出，简单函数优化经过短时间按即可得出结果，收敛较快。最终结果：x1=1.2,x2=2,f(x1,x2)=1.08。

1. **复杂案例解决——路径规划问题**

