

关于烟花算法的认识

杨言智

(北京大学地球与空间科学学院)

摘要 烟花算法 (FWA) 是一种受到烟花爆炸的启发而提出的群体智能算法, 因其具有很强的优化问题求解能力, 近年来逐渐受到研究者的广泛关注. 本文将介绍烟花算法的基本原理, 从利用烟花算法解决TSP问题的例子出发分析其优势, 并基于当前烟花算法的实际研究进展和应用谈烟花算法的应用前景与现存问题, 最后对文章内容作简要总结.

关键词 烟花算法; 群体智能; TSP问题

1 烟花算法的基本原理

烟花算法简介

烟花算法 (FWA) 是一种新兴的群体智能算法, 由 Tan 和 Zhu 在 2010 年提出^[2]. 烟花在夜空中爆炸时, 其产生的火花会在爆炸中心附近的一个爆炸范围内发出耀眼的亮光. 而每一个烟花爆炸的时候, 其爆炸区域几乎是一个球形, 这就提供了一个形象的搜索可行解的图像: 如果我们将烟花看作最优化问题中解空间的一个可行解, 那么烟花爆炸产生一定数量火花的过程就是一个搜索邻域的过程^[1]. 注意到烟花爆炸过程中, 每个烟花爆炸范围内的火花都具有相似的特点, 因此我们使用烟花算法的时候就要求每个可行解和其邻域内的其他解拥有相似的性质, 这实际上是一种对解空间内各点性质的某种相关性的要求, 类似于地理学上的地理学第一定律 (Waldo R. Tobler). 另外, 烟花算法之所以能够成为一种群体智能算法, 是因为我们允许烟花之间进行资源交互, 这正是烟花算法的精妙所在.

我对烟花算法感兴趣的原因大概有以下几个. 第一, 烟花算法是最近才被提出的一种算法, 相比于上个世纪提出的遗传算法和蚁群算法, 它更为新颖. 第二, 烟花算法是一种拥有易懂图像的算法, 我作为一个初学者能够比较容易地把握住算法的要点和精髓. 第三, 烟花算法虽然是一种群体智能算法, 但它罕见地与生物群体行为没有直接关系, 我对其群体智能的具体表现颇感兴趣.

算法框架

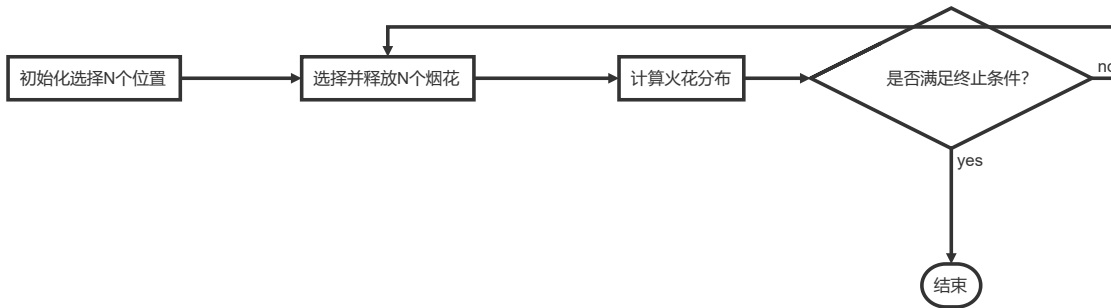


图1 烟花算法流程图

具体步骤如下:

(1) 首先我们在解空间中随机地或者人为干预地选择一定数量的初始位置, 每一个初始位置产生一个初始烟花. 这些烟花代表着解空间中的可行解.

(2) 对于上一步中产生的烟花,根据确定的优化目标函数计算烟花的适应度,再根据适应度产生不同数量的火花.这些火花将被用作对烟花邻域进行搜索,因而对于适应度好的烟花,应当产生更多的火花.为了保证种群的多样性,引入高斯火花作为变异.

(3) 接下来判断系统是否达到终止条件,终止条件的设定由实际的问题给出.若达到终止条件,则结束迭代,否则根据一定的规则在上一步产生的所有火花和烟花中选择一定数量的个体,令这些个体作为下一代的烟花进入迭代.

组成部分

以上仅是烟花算法的框架,对于烟花算法的具体实现,我们还需要引入以下概念:爆炸算子、变异算子和选择策略.

不妨设问题的形式为:

$$\text{Min} f(x) \in R, x \in \Omega \quad (1)$$

则有:

(1) 爆炸算子:即确定每个烟花产生火花的半径(即爆炸半径)和火花的数量.这里火花的数量是由免疫学中的免疫浓度的思想来计算的.大体上来说,适应度好的烟花在较小的范围内产生较多的火花,适应度差的烟花在较大的范围内产生较少的火花,这与适应度好的烟花局域搜索能力更强以及适应度差的烟花的全局搜索能力更强是相互匹配的.具体计算公式^[1]如下:

$$A_i = \hat{A} \frac{f(x_i) - y_{\min} + \varepsilon}{\sum_{i=1}^N (f(x_i) - y_{\min}) + \varepsilon} \quad (2)$$

$$S_i = M \frac{y_{\max} - f(x_i) + \varepsilon}{\sum_{i=1}^N (y_{\max} - f(x_i)) + \varepsilon} \quad (3)$$

其中, $y_{\min} = \min(f(x_i))$ 代表烟花中适应度最小值, $y_{\max} = \max(f(x_i))$ 代表烟花中适应度最大值. \hat{A} 和 M 为常数,分别用于调整烟花爆炸半径大小和产生的火花数目, ε 为一个很小的数,用来避免除零操作.另外,火花的数量应该与烟花的适应度有关,根据文献 [2] 的说法,可写为:

$$S_i = \begin{cases} \text{round}(a^* M), S_i < aM \\ \text{round}(b^* M), S_i > bM, a < b < 1 \\ \text{round}(S_i), \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

其中 a, b 为常数, round 是四舍五入函数.

(2) 变异算子:高斯火花的来源,即对于烟花的某些维度进行高斯变异操作(乘上一个高斯分布函数 $N(1, 1)$),这样做的目的是保证一定的种群多样性.即:

$$\hat{x}_{ik} = x_{ik} \times N(1, 1) \quad (5)$$

(3) 选择策略:选择策略是一个概率函数,每个火花及烟花被选择成为下一代烟花的概率是一个由算法设计者确定的函数,除了所有火花和烟花中适应值最小的一定会被选择以外,其他的火花和烟花都按照概率随机进入下一代或者被丢弃.选择策略是算法的核心,传统烟花算法使用轮盘赌规则作为选择策略函数.具体计算公式^[1]如下:

$$p(x_i) = \frac{\sum_{x_j \in K} \|x_i - x_j\|}{\sum_{x_j \in K} x_j} \quad (6)$$

至此,基本烟花算法的原理介绍完毕,由于本文重点为对烟花算法的总体分析和认识,为保证文章的简洁性,本文中已将各种算子和策略的具体操作细节略去.

2 烟花算法的优势

烟花算法作为一种群体智能算法，天生地具有群体智能算法的特点。根据 Kennedy 等的说法，群体智能是简单的具有信息处理能力的单元在交互过程中表现出简单个体不具有的能够解决复杂问题的一种能力^[3]。而烟花算法就是这样一种算法，它能够解决那些精确求解有困难的问题，例如经典的 TSP 问题。

烟花算法本身具有随机性、局部性、爆发性、隐并行性、多样性和瞬时性的特点。其中，爆发性和局部性是最为重要的特性。

从烟花算法的框架中我们可以看到，烟花算法和遗传算法之间存在类似的概念，甚至许多名词如适应度、种群多样性、变异等等都来自遗传算法。但烟花算法相对于遗传算法而言在搜索能力上更有优势，其局部性特征体现了烟花算法强大的局域搜索能力，使得算法运行的后期对于最优解的搜索精细程度能够得到提高。蔡延光等用烟花算法和遗传算法对 TSP 问题进行求解的测试说明了这一点。测试结果如下表^[4]：

算法	Oliver30		Att48		Eil51	
	Best	Avg	Best	Avg	Best	Avg
GA ^[22]	467.7	483.5	38541	38732	—	—
PSO ^[7,23-24]	527.5	571.1	49778	52377	571.6	601.2
FWA	415.0	483.5	35931	44615	452.0	548.4
CFWA	415.0	476.0	35108	43150	451.0	544.4

表1 不同算法的对比结果

从上表中我们可以看出，相对于遗传算法 (GA)，基本烟花算法 (FWA) 表现更加良好，在 Oliver30 上寻到了最优值，而且在 Oliver30 和 Att48 的标准问题中最优解得到了更好的结果。实验结果证明了相比于遗传算法而言，基本烟花算法具有较好的局部搜索和全局搜索能力。

3 烟花算法的前景和问题

烟花算法在被提出之后，因其在符合其应用条件的优化问题的求解上有很强的能力，受到了广泛的关注。烟花算法也被运用在许多实际问题的求解中，比如在物流配送中，利用烟花算法结合遗传算法对异质车队的路径优化问题进行讨论^[5]，又如利用烟花算法做某些模型预测。当然，原先的经典问题也可以通过使用烟花算法进行重新讨论，并同时烟花算法的各种特性做进一步的研究，如经典的0-1背包问题等。可以说，烟花算法的前景是十分广阔的。

目前烟花算法已经有几种典型的改进版本，如增强烟花算法、动态搜索烟花算法、差分演化-烟花混合算法和生物地理学优化-烟花算法等。其中增强烟花算法是在基本烟花算法的框架下对其中的某些算子做了改进和更多要求而获得的算法，应用广泛。

烟花算法的每个可行解和其邻域内的其他解拥有相似的性质这一要求与地理学上的地理学第一定律有相似之处，这是否意味着我们能够利用烟花算法来高效地解决与地理信息相关的问题呢？我个人认为，问题的答案应该是肯定的。与地理信息相关的问题中，有许多是与优化相关的，而且对于有空间依赖的地理现象而言，大多数问题的解空间应当符合烟花算法的要求。如果我们能改进烟花算法，使烟花算法能与大数据良好的结合，那么它将在地理信息方面有广泛的应用。事实上现在已经出现了一些相关的研究，如上文提到的引文^[5]，但它们中的大部分还是主要将注意力放在算法本身的改进和提升上，距离更进一步的应用还需要一段时间。

事实上，作为一个新兴的算法，烟花算法的研究仍处于较为初步的阶段，还有许多问题亟待解决。在最基础的方面，对于烟花算法的稳定性、收敛性、参数灵敏度等基本特性的测试和相关的理论分析尚未完成。尤其是对各项算子和选择策略的选择还有望更进一步探究。在应用的方面，烟花算法在很多实际情景下需要进行改进或者与其他算法混合使用才能达到最好的效果。关于实践中如何与其他算法进行混

合,如何对其进行改进,烟花算法中各项参数如何进行调整,目前的研究还不够丰富.根据谭营等的说法^[1],接下来要在爆炸算子搜索机制的深入分析、烟花交互机制、多目标烟花算法等方面进行研究.烟花算法还有很长的路要走.

4 总结与感想

在写这篇报告的时候,我看了十几篇相关的文章,感到一种算法的改进和完善是非常困难的,这个过程需要多人参与,多次实验才能推进.不过改进算法的回报也是很显然的,一旦某种应用场景下适合的方法被发现,其影响将是持久的.另外,我在看烟花算法的同时也看了一些关于群体智能的文章,我认为群体智能是一种非常有意思的现象,其群体中无中心控制个体,却能达到大多数情况下的最优解(或局部最优解).群体智能经过了多年的研究,目前已经有相当多的成果.我认为未来现有的群体智能算法还有很大的改进空间,其性能应该还能提升.未来也会有人从某种现象中抽象出新的群体智能算法,群体智能仍然是一个具有发展潜力的算法方向.

说回烟花算法.烟花算法作为最近几年才被提出的新算法,相对过去的其它算法有其优越之处,特别是相对于与它有几个概念重合的遗传算法,烟花算法在收敛性和解的精确程度上表现更好.烟花算法的框架对应的图像生动易懂,像我这样一窍不通的初学者也能明白大概原理.烟花算法对于优化问题有着很强的求解能力,这是其被多次改进和增强的根本原因,也是我认为其未来应用前景广阔的原因之一.在地理信息相关的应用中,因为烟花算法天生的拥有类似地理学第一定律的性质,烟花算法也有望成为广泛应用的算法.

总的来说,烟花算法是一种新兴的群体智能算法,具有自身的优势,并且拥有广阔的应用前景和很大的上升空间.

参 考 文 献

- [1] 谭营,郑少秋,烟花算法研究进展[J],智能系统学报,2014,9(5):515-528.
- [2] TAN Y, ZHU Y. Fireworks algorithm for optimization [C], // Berlin : Springer , 2010 : 355-364
- [3] KENNEDY J, EBERHART R C. Swarm intelligence [M] . Morgan Kaufmann , 2001 : 504-512
- [4] 蔡延光,陈厚仁,戚远航,混沌烟花算法求解旅行商问题[J],计算机科学,2019:85-88
- [5] 庞凌,物流配送中烟花算法结合遗传算法的异质车队路径优化方法[J],计算机测量与控制,2019:245-248