**进化算法**

# 萤火虫算法

## 介绍

萤火虫（firefly）种类繁多，主要分布在热带地区。大多数萤火虫在短时间内产生有节奏的闪光。这种闪光是由于生物发光的一种化学反应，萤火虫的闪光模式因种类而异。萤火虫算法(FA)是基于萤火虫的闪光行为，它是一种用于全局优化问题的智能随机算法，由Yang Xin-She（2009）[1]提出。萤火虫通过下腹的一种化学反应-生物发光（bioluminescence）发光。这种生物发光是萤火虫求偶仪式的重要组成部分，也是雄性萤火虫和雌性萤火虫交流的主要媒介，发出光也可用来引诱配偶或猎物，同时这种闪光也有助于保护萤火虫的领地，并警告捕食者远离栖息地。在FA中，认为所有的萤火虫都是雌雄同体的，无论性别如何，它们都互相吸引。该算法的建立基于两个关键的概念：发出的光的强度和两个萤火虫之间产生的吸引力的程度。

## 天然萤火虫的行为

天然萤火虫在寻找猎物、吸引配偶和保护领地时表现出惊人的闪光行为，萤火虫大多生活在热带环境中。一般来说，它们产生冷光，如绿色、黄色或淡红色。萤火虫的吸引力取决于它的光照强度，对于任何一对萤火虫来说，较亮的萤火虫会吸引另一只萤火虫。所以，亮度较低的个体移向较亮的个体，同时光的亮度随着距离的增加而降低。萤火虫的闪光模式可能因物种而异，在一些萤火虫物种中，雌性会利用这种现象猎食其他物种；有些萤火虫在一大群萤火虫中表现出同步闪光的行为来吸引猎物，雌萤火虫从静止的位置观察雄萤火虫发出的闪光，在发现一个感兴趣趣的闪光后，雌性萤火虫会做出反应，发出闪光，求偶仪式就这样开始了。一些雌性萤火虫会产生其他种类萤火虫的闪光模式，来诱捕雄性萤火虫并吃掉它们。

## 萤火虫算法

萤火虫算法模拟了萤火虫的自然现象。真实的萤火虫自然地呈现出一种离散的闪烁模式，而萤火虫算法假设它们总是在发光。为了模拟萤火虫的这种闪烁行为，Yang Xin-She提出了了三条规则（Yang，2009）[1]：

1. 假设所有萤火虫都是雌雄同体的，因此一只萤火虫可能会被其他任何萤火虫吸引。
2. 萤火虫的亮度决定其吸引力的大小，较亮的萤火虫吸引较暗的萤火虫。如果没有萤火虫比被考虑的萤火虫更亮，它就会随机移动。
3. 函数的最优值与萤火虫的亮度成正比。

光强(I)与光源距离(r)服从平方反比定律，因此由于空气的吸收，光的强度(I)随着与光源距离的增加而减小，这种现象将萤火虫的可见性限定在了非常有限的半径内：

 （1）

萤火虫算法的主要实现步骤如下：

第一步，为第i个解初始化目标函数f(xi)，使用下式计算第i个解的光强：

 （2）

其中I0为距离r=0时的光强（最亮），即自身亮度，与目标函数值有关，目标值越优，亮度越亮；γ为吸收系数，因为荧光会随着距离的增加和传播媒介的吸收逐渐减弱，所以设置光强吸收系数以体现此特性，可设置为常数；r表示两个萤火虫之间的距离。有时也使用单调递减函数，如下式所示。

 （3）

第二步为种群初始化：

 （4）

其中t表示代数，xt表示个体的当前位置，β0exp(-γr2)是吸引度，αε是随机项。下一步将会计算萤火虫之间的吸引度：

 （5）

其中β0表示r=0时的最大吸引度。

下一步，低亮度萤火虫向较亮萤火虫运动：

 （6）

最后一个阶段，更新光照强度，并对所有萤火虫进行排序，以确定当前的最佳解决方案。萤火虫算法的主要步骤如下所示。

Begin

初始化算法基本参数：设置萤火虫数目n，最大吸引度β0，光强吸收系数γ，步长因子α，最大迭代次数MaxGeneration或搜索精度ε；

初始化：随机初始化萤火虫的位置，计算萤火虫的目标函数值作为各自最大荧光亮度I0；

t=1

while(t<=MaxGeneration || 精度>ε)

计算群体中萤火虫的相对亮度I(式2)和吸引度β（式5），根据相对亮度决定萤火虫的移动方向；

更新萤火虫的空间位置，对处在最佳位置的萤火虫进行随机移动（式6）；

根据更新后萤火虫的位置，重新计算萤火虫的亮度I0；

t=t+1

end while

输出全局极值点和最优个体值。

end

萤火虫算法与粒子群算法(PSO)和细菌觅食算法(BFA)有相似之处。在位置更新方程中，FA和PSO都有两个主要分量：一个是确定性的，另一个是随机性的。在FA中，吸引力由两个组成部分决定：目标函数和距离，而在BFA中，细菌之间的吸引力也有两个组成部分：适应度和距离。萤火虫算法实现时，整个种群(如n)需要两个内循环，特定迭代需要一个外循环(如I)，因此最坏情况下FA的计算复杂度为O(n2I)。

## 萤火虫算法改进

萤火虫算法只有10年(2009~2019)的历史，但由于其简单和易于实现，受到优化领域的研究人员和科学家越来越多的欢迎。Francisco，Costa和Rocha(2014)[2]对萤火虫算法进行了一些实验，使用了数学函数范数。范数是一个严格分配非负长度的函数。(Francisco et al.，2014)[2]提出了两种计算吸引力函数的新方法。首先，利用p-范数计算两个萤火虫之间的距离。第二种方法提出了两个新的吸引力函数β1和β2，如下所示。

 （7）

 （8）

Wang et al.(2017)[3]提出了FA自适应参数，根据迭代次数修改其值：

 （9）

 （10）

其中t表示当前迭代次数，α的初始值为0.5。第一个等式停止于Gmax，第二个等式停止于最大评估次数。Wang等也建议按照下式改变吸引度系数β：

 （11）

其中rand1和rand2均为均匀分布产生的随机数。

Chuah, Wong, and Hassan(2017)[4]在萤火虫算法中混合了三种不同的策略，开发了一种新的FA变体，并将其命名为基于swap的离散FA(SDFA)，用于解决旅行商问题。该新的策略将萤火虫算法与重置策略、最近邻初始化和固定半径最近邻相结合。这里，使用交换距离策略计算两个萤火虫之间的距离，如下所示：

 （12）

其中dswap表示在[0,N]之间的交换距离（swap distance），N代表城市数量。这意味着城市间距离的增加会导致吸引力βij的逐渐下降。在这个新版本中加入了最近邻策略，该策略随机从一个城市开始，一直选择邻近的城市，直到循环完成。此外，重置方法用于跳过局部最优。

Wang等人(2017)[5]利用FA中的交叉策略开发了一个多目标的FA版本。所提出的算法按照如下生成新的解：

 （13）

其中t是当前迭代次数，CR表示交叉率，randd(0,1)是[0,1]之间的任意数，对于D维问题，drand是[0,D]之间的任意数，参数α通过式（9）和式（10）进行更新。

## 参考文献

1. Yang, X.-S. *Firefly Algorithms for Multimodal Optimization*. in *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*. 2009. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

2. Francisco, R.B., M.F.P. Costa, and A.M.A.C. Rocha. *Experiments with Firefly Algorithm*. in *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2014*. 2014. Cham: Springer International Publishing.

3. Wang, H., et al., *Firefly algorithm with adaptive control parameters.* Soft Computing, 2017. **21**(17): p. 5091-5102.

4. Chuah, H.S., L.-P. Wong, and F.H. Hassan. *Swap-Based Discrete Firefly Algorithm for Traveling Salesman Problem*. in *Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*. 2017. Cham: Springer International Publishing.

5. Wang, H., et al., *Firefly algorithm with neighborhood attraction.* Information Sciences, 2017. **382-383**: p. 374-387.