# 萤火虫群优化算法

## 介绍

萤火虫（Glowworms）是一群能发光的昆虫，也被称为闪电虫，它们使用一种叫做生物发光（bioluminescence）的过程来发光。然而，已经发现了许多具有类似发光行为的生物，如水母、某些细菌、原生动物、水生动物等，事实上，大约80%到90%的海洋生物是由发光生物组成的。萤火虫流行的原因是它们很容易被发现且数量巨大。

看到萤火虫在夏夜忽明忽暗地眨眼，要比看到它们的群体行为容易得多，大量的萤火虫聚集在一起形成一个群体，同时发出闪光，在目睹了这些美丽的景象之后，人们不禁想知道萤火虫这种发光和聚集行为的“原理”和“原因”。这种发光行为的原因是为了吸引它们不知情的猎物进入陷阱，并吸引配偶进行繁殖。在繁殖过程中，既可以观察到个体的求偶也可以观察到群体的交配。

萤火虫的生命周期从卵开始，然后从卵变成蛹，蛹变成幼虫，幼虫变成成虫，萤火虫只需要几周的时间就可以成年，因此，以保留物种为目标，寻找交配对象进行繁殖是当务之急。

### 闪光模式

随着进化，萤火虫已经进化到可以通过多种方式控制光的发射，从而产生不同的交配信号。它们通过改变如下参数来产生不同的信号：

* 发光的颜色；
* 发光的亮度；
* 雄性闪光和雌性闪光-相位差；
* 每次闪光持续时间；
* 每周期闪光次数；
* 闪光时间；
* 连续发光或闪光脉冲序列。

Kaipa和Ghose (2017)用不同的例子来描述这些闪光模式，例如使用Lampyrus萤火虫，一种在欧洲常见的萤火虫，只有雌性才有发光的能力。她在草地上扭动着身体，把光线从一个方向扫到另一个方向，以吸引四处游荡的雄性萤火虫的注意。对于Lamprophorustenebrosus萤火虫，雄性和雌性都具有发光能力，但雌性没有翅膀，其类似于Lampyrus，利用光线吸引配偶。在一些物种中，雌性使用不同的模式，如长闪光发光，在间隔时间内并不完全熄灭。当雄性在10英尺远的地方能感觉到这种模式时，它们就会飞向雌性。这些闪光模式是物种特有的，例如在Photinus这一类萤火虫中，雄性通过在地面上爬行开始交配，发出各种各样的光，并观察附近雌性的反应信号。在Photinus consanguineus中，雄萤火虫发出两道闪光，雄萤火虫停顿一下，接着又发出两道闪光，它重复这个模式。在雄性发出第二次闪光后，雌性会在一秒钟内做出回应。在Photinus castus中，雄萤火虫发出长长的闪光，雌萤火虫立即做出回应。尽管P. consanguineus和P. castus的结构非常类似，但根据它们发光的模式不同，它们被认为是不同的物种。尽管它们经常一起飞行，但是不会出现杂交的情况，但根据它们发光的模式不同，它们被认为是不同的物种，但它们经常一起飞行。

### 群体交配

上面提到的物种有一个共同点，不管是雄性还是雌性，不管是谁在吸引另一个，都需要一个不间断的视线，这样他们才能感知到信号并做出回应。在一些视觉杂乱的地区，比如东南亚的红树林沼泽，要获得如此不间断的视线并不容易。因此，在这些地区发现的物种没有选择个体求偶。这里的萤火虫而是在树上或洞穴里成群结队，因为这样游走的萤火虫就很容易找到交配对象。如果最初没有群体，那么通过相互的光吸引，萤火虫可能会形成一个核团。在形成这些群体的过程中存在着竞争，这就导致了不止一个更大的群体，而这些更大的群体会进一步吸引附近更小的核，因为它们的平均光发射量更高，这意味着找到配偶的可能性更高。

## 萤火虫群优化算法

针对萤火虫和萤火虫群的行为，Krishnanand和Ghose（2005）[1]提出了萤火虫群优化算法（Glowworm Swarm Optimization，GSO），并使用于诸多应用。最初，GSO的开发目标是提供数值优化问题的解决方案，而不是确定全局最优，但是由于GSO的分散决策和移动协议，它在机器人等领域做出了更多的贡献。

最初受萤火虫启发，GSO在随机搜索空间中随机分布一组或一群代理，代理间通过其他行为机制相互影响，而这些机制在其自然界中的对应物中是不存在的。算法的基本工作基于以下三种机制：

1. 适应度广播

萤火虫有一种叫做荧光素（luciferin）的色素，可以使萤火虫发光。萤火虫体内荧光素的含量决定了它们在目标空间中的位置的适应度。

1. 正趋性

萤火虫被比自己亮的邻居吸引，因此开始向它移动。当有多个这样的邻居时，它利用概率机制来选择一个。

1. 自适应邻域

每个萤火虫利用一个自适应邻域来识别邻居，该邻域由一个具有可变范围rdi的局部决策域定义，该域的边界是一个硬限制的感知范围rs(0<rdi<rs)。这里可以使用一种合适的启发式方法来调节rdi。萤火虫的运动完全依赖于局部信息，每个萤火虫都会选择一个邻居，这个邻居的荧光素值大于它自己的荧光素值，然后向它靠近。这些运动建立在可用的局部信息和选择性的邻居交互的基础上，使得萤火虫群能够聚集成不相交的子群，朝着给定多峰函数的多个最优值移动并在其上相遇。

### 算法

虽然该算法被解释为寻找多峰函数的多个最优解，但可以通过简单修改用于最小化问题。最初，GSO将萤火虫随机地放置在搜索空间中，使它们分布得很好。初始时，每只萤火虫体内的荧光素含量为零。该算法的单位周期包括荧光素更新阶段、移动阶段和邻域范围更新阶段，如图1所示。



图1 GSO算法流程

以下为GSO算法的伪代码：

Begin

设置维数=d

设置萤火虫数量=g

设步长=n

设xi(t)为萤火虫i在时间t的位置

for i=1 to g do Li(0)=L0

rd=r0

设置最大迭代次数=iter max

设置t=1

设置邻域阈值nt

While(t<=iter max)

for 每一个萤火虫i

//更新荧光素，J(xi(t))表示萤火虫i在t时刻所在位置的目标函数值

Li(t)=(1-ρ)Li(t-1)+γJ(xi(t))

end

for 每一个萤火虫i

for 每一个萤火虫j

//寻找萤火虫的邻居

Ni(t)={j:||xj(t)−xi(t)||<rdi(t)且Li(t)<Lj(t)}

end

for 每一个萤火虫j∈Ni(t)

//轮盘赌选择移动的方向

pij(t)=[Lj(t)-Li(t)]/{sumk∈Ni(t)[Lk(t)-Li(t)]}

end

j=max pij(t)

//移动，更新位置

xi(t+1)=xi(t)+n\*(xj(t)-xi(t))/(||xj(t)-xi(t)||)

rdi(t+1)=min{rs,max{0,rdi(t)+β(nt-|Ni(t)|)}}

end

t=t+1

end

end

## GSO算法的数学证明

参见原文[1]。

参考文献

1. Krishnanand, K.N. and D. Ghose. *Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics*. in *Proceedings 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2005. SIS 2005.* 2005.