

关于人工萤火虫群优化 GSO 算法的报告

冯禄 1400012614

摘要 萤火虫算法通过模仿自然界萤火虫发光相互吸引成群的群体行为进行设计，目前主要有两种：人工萤火虫群优化 GSO (Glowworm Swarm Optimization) 算法，及 FA (Firefly Algorithm) 算法。虽然在实现方法上有一定差异，但二者本质相同，经过学者的研究改进，在连续空间的寻优过程和一些生产调度及寻找定位方面应用良好。本文简要阐述 GSO 算法的原理假设和数学描述，并介绍电动车充电站选点的应用实例，同时以共享单车的资源配置为例说明个人对萤火虫算法的理解。

关键词 萤火虫算法 GSO 算法 电动车充电站选址 共享单车投放位置

一、GSO 算法自然原理及思想

萤火虫通过发光对其他个体进行吸引，当一群无序的萤火虫个体开始发光，最后必将形成大部分萤火虫围绕在亮度最强的几只萤火虫附近的群体，忽略生物学因素，只抽象出发光、感知、移动的原理，对这个过程进行仿生模拟，即得到萤火虫算法。

GSO 算法的基本思想：

每只萤火虫分布在定义空间内，发光强度由自身携带的荧光素量决定，荧光素的多少由它所在位置对应的目标值决定，即位置越优，则携带越多的荧光素。并且拥有各自能够感知光的视野范围，称区域决策范围，当其周围萤火虫数量更少时，它的决策半径更大，为了搜索更多的临近萤火虫，当周围的萤火虫数量增多，由于受到干扰，其决策半径变小。萤火虫 i 向萤火虫 j 移动的前提条件是萤火虫 j 在 i 的区域决策范围之内，且 j 的荧光素水平大于 i ，此时 i 以一定概率向 j 前进。最终通过不断移动，萤火虫会聚集在最优的位置，即目标函数的最优值。

通过数学方法表示出如上参量，初始化赋予每只萤火虫的荧光素是相同的，均为 l_0 ，同时感知半径均为 r_0 ：

荧光素水平更新：萤火虫 i 在 t 时刻位置的荧光素水平 $l_i(t)$ 与荧光素挥发系数 ρ ，荧光素增强因子 γ ， i 在 t 时刻位置的目标值 $J(x_i(t))$ 及 i 在上一时刻 $t-1$ 的荧光素水平关系式：

$$l_i(t) = (1 - \rho)l_i(t-1) + \gamma J(x_i(t)) \quad (1)$$

选择移向范围内萤火虫 j 的概率 $p_{ij}(t)$ ：

$$p_{ij}(t) = \frac{l_j(t) - l_i(t)}{\sum_{k \in N_i(t)} l_k(t) - l_i(t)} \quad (2)$$

其中邻域集 $N_i(t)$ 满足 i, j 距离 $d_{ij}(t)$ 在 i 决策半径 $r_d^i(t)$ 内，且 i 荧光素水平 $l_i(t)$ 此刻低于 j 的荧光素水平 $l_j(t)$ ：

$$N_i(t) = \{j: d_{ij}(t) \leq r_d^i(t), l_i(t) < l_j(t)\} \quad (3)$$

位置更新：萤火虫 i 在 t 时刻位置 $x_i(t+1)$ ， s 表示步长。

$$x_i(t+1) = x_i(t) + s \cdot \frac{x_j(t) - x_i(t)}{\|x_j(t) - x_i(t)\|} \quad (4)$$

动态决策半径更新：下一时刻决策半径 $r_d^i(t+1)$ 表达式如下，式中 β 表示邻域变化率， n_i 表示邻域阈值（控制萤火虫的邻居数目）， $|N_i(t)|$ 表示邻居集合 $N_i(t)$ 中的元素数目。

$$r_d^i(t+1) = \min\{r_0, \max\{0, r_d^i(t) + \beta(n_i - |N_i(t)|)\}\} \quad (5)$$

通过以上表达式，对萤火虫的荧光素、位置和决策域的不断更新，最终适应度值较高的萤火虫会造成其余萤火虫的聚集，即找寻出的最优解。

二、GSO 算法流程

算法步骤如下：

- a. 初始化萤火虫位置及各参数
- b. 更新萤火虫的位置，计算目标值
- c. 计算荧光素值，划定感知半径，选取邻域集
- d. 计算萤火虫 i 向 j 移动的概率，选择最可能的萤火虫 j 作为移动方向
- e. 更新感知半径
- f. 判断是否满足条件，是则继续 g，否则返回 c
- g. 输出结果

三、应用——电动汽车充电站选址

随着电动汽车逐步进入市场，电动汽车的充电问题也被重视起来。选点建设充电站是在考虑建筑成本和运营成本之和最低的情况下进行的，利用萤火虫算法可以建立最优选址模型。

$$\min C = \sum_{i=1}^L (C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i}) \quad (6)$$

式中 L 表示所建设充电站的数量； C_{1i} 为充电站 i 每年的建设成本； C_{2i} 为充电站 i 每年的设备线路损耗及运营维护成本； C_{3i} 为电动车用户每年在充电站 i 充电产生的费用； C_{4i} 为每年用户前往充电站进行充电产生的费用。此处略去各自对应表达式。

其中 C_{1i} ， C_{2i} 涉及充电站 i 点充电桩数 n_i ， C_{4i} 涉及到充电站 i 的充电需求。通过对节点 z 的交通流量的估算可以得到电动汽车的充电需求 Q_i ，而对某一个路段而言，交通流量密度应取某一时刻从该路段同一个方向流入或流出该节点的车流量，从而转化为充电需求。而为了满足这样的充电需求，则可以得出需要安装的充电桩数目 n_i 的表达式。

上述模型的约束条件为：

$$\sum_{z \in M_i} h_z = N, z \leq M_i \quad (7)$$

$$h_z = \begin{cases} 1 & z \text{ 节点被选为充电站} \\ 0 & z \text{ 节点不能被选为充电站} \end{cases} \quad (8)$$

$$D_{min} \leq d_{ij} \leq D_{max} \quad (9)$$

M_i 表示备选站集合, (7)中规定了备选站的数量 N , 其中 h_z 为 0-1 变量, 表示充电站与用户之间的分配关系, 如式(8), 式(9)表示充电站 i 与 j 之间的距离 d_{ij} 满足设定的距离范围。

通过对某地区的仿真实验, 表明利用 GSO 算法建立的优化模型可以有效地求解电动车充电站选点问题。考虑实际中的用户与充电站成本与利益分配问题及其他多约束条件, 模型还有待进一步改善。

四、讨论——用 GSO 算法模拟研究共享单车资源配置时的参数设置

共享单车作为近两年兴起的出行方式, 其单车投放的位置是影响单车使用率和利润及用户评价的重要因素。这里依照 GSO 算法的基本原理, 参考电动车充电站的选点进行参数设计。

共享单车的目标函数成本支出相当于寻找萤火虫的最优位置时所判断的最小值, 涉及到 1) 单车自身成本 2) 单车每年维修成本 3) 单车单向挪移至投放位置的成本 4) 用户在投放处开锁使用产生的费用 5) 用户前往投放处需要的成本。

这里我们假定某点的需求程度等于该处作为投放点的投放程度, 以此表示目标值, 进而表达荧光素水平。

与上述电动车充电站选点类似地, 有根据流量计算需求的表达式, 需求等同于目标值, 可计算荧光素水平, 可接受半径由附近单车投放点的密度决定, 同时受心理因素对距离感知的限制, 节点前往用户可接受半径范围内的某点用车的概率相当于萤火虫选择移动方向的概率, 最大概率方向决定该点的需求将前往的其他投放点, 更新参数, 判断是否满足条件, 是则输出结果, 否则继续循环。

需要注意的是, 用户的可接受域并不一定是圆, 因趋向投放点的概率还受投放点所在方向与用户目标方向是否相同有关, 如用户目标地点位于东向, 则他可能不会选择向西 150 米的投放点取车, 而会选择向东 300 米的投放点。因此仅用一个数值来表示需求的大小可能不妥。

五、结论

GSO 算法通过模仿自然界萤火虫的群体行为搭建了以选择最优解为主要目的的模型, 在选址问题上发挥重要作用, 此外也可以应用到行业和生产中, 如凝灰质砂岩储层测井的解释等方面。其主要的缺陷在于, 容易回归到几个次优点而之后的回归速度很慢, 过早收敛。目前的 GSO 算法优化涉及到变步长优化, 最大最小值优化, 混沌优化等。通过不断的改进, 将 GSO 算法与其他算法相结合解决实际问题是目前的应用趋势。

参考文献

- 程春英. 萤火虫算法的研究进展[J]. 电子测试, 2015(13):44-47.
- 莫修文, 李晓, 张强. 萤火虫算法在凝灰质砂岩储层测井解释中的应用[J]. 石油物探, 2016, 55(6):869-878.
- 邱金鹏, 牛东晓, 朱国栋. 基于萤火虫算法的电动汽车充电站优化布局[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2016, 43(5):105-110.
- 田原. 两种萤火虫算法的研究[J]. 科学家, 2016, 4(6):21-21.