为了增强BOA算法的探索能力和提供收敛精度，引入线性收敛因子(Linear convergence factor)α在蝴蝶森爱的全局位置更新处，为其设计的迭代前期α较大可以增强全局探索能力且递减速度快，而在迭代后期α收敛到较小值且递减速度变缓慢，以实现前期加速收敛，后期保证收敛精度在较高水平。Α随着迭代次数由2减小到0。文献收敛因子和黄金指引机制的蝴蝶优化算法，设计的公式是：

式中：t是当前迭代次数，是最大迭代次数。

一种改进的蝴蝶优化算法中实验指出，α递增算法性能也越来越差，当α算法随指数性能最优时。本文引入一种新的基于指数变化的收敛因子(Exponential connective factor)更新方式。



为了验证改进的指数收敛因子的有效性，实验首先进行了比较经典的蝴蝶优化算法，线性收敛因子蝴蝶算法和指数收敛因子蝴蝶优化算法在求解Sphere（单峰函数，公式）和Rastrigin函数（多峰函数）最小值问题过程中的优化结果。种群数量50，最大迭代次数500。动态转换概率0.8，C取0.01，α取0.1。结果如下，结果为算法独立运行30次取平均值。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试函数 | BOA算法 | LBOA算法 | EBOA算法 | EDEIBOA算法 |
| Sphere函数 | 0.026949 | 0.039431 | 1.255e-09 | 9.69674e-18 |
| Alpine函数 | 1.679137 | 0.839685 | 0.0001138 | 4.803655e-05 |

算法的改进算法的时间复杂度分析算法的种群规模设置为 N，最大迭代次数为 maxiter，搜索空间的维度为 dim，增加 差分进化策略，相当于增加一个内层循环( 由改进算法的流程图可以直接看出) ，则增加的运算量为 O( maxiter × dim × N) ，相当于增加了一个内层循环，根据改进算法的寻优效率来说，增加的计算量是可以接受的。

差分进化是一类基于群体的自适应全局优化算法，与遗传算法类似，不过不采用二进制编码，而是实数编码。它的进化也包括变异，交叉和选择。

变异操作：在每次迭代中

基于指数收敛因子的蝴蝶算法融入差分进化策略（differential evolution）和精英(elite)策略。为了加强种群个体交互信息，做出了优化。

可以看到我们最终的最优的算法。相对于最初的基本蝴蝶算法。对于Sphere函数精度提升了16个数量级，对于Alpine函数精度也提升了5个数量级。

验证了EDEIBOA算法的有效性之后，我们在进一步验证与之结合的K-means 算法在不同数据集中的聚类结果表现。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 数据集 | 数据个数 | 属性个数 |
| Iris | 150 | 4 |
| wine | 178 | 13 |
| Absenteeism\_at\_work | 740 | 21 |
| MFCCs | 7195 | 22 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据集 | DBI指数 | K-means | BOAK | EK |
| Iris | 最优值 | 0.4042 | 0.3747 | 0.3747 |
| 最差值 | 1.1313 | 0.4648 | 0.3827 |
| 平均值 | 0.6671 | 0.3855 | 0.3782 |
| wine | 最优值 | 0.5380 | 0.2959 | 0.3842 |
| 最差值 | 0.7181 | 0.5300 | 0.2724 |
| 平均值 | 0.5380 | 0.4014 | 0.3252 |
| Absenteeism\_at\_work | 最优值 | 1.0237 | 0.8907 | 1.0602 |
| 最差值 | 1.3118 | 1.2657 | 1.2151 |
| 平均值 | 1.1755 | 1.0796 | 1.1786 |
| MFCCs | 最优值 | 0.4683 | 0.5843 | 0.4406 |
| 最差值 | 0.6643 | 0.3308 | 0.3316 |
| 平均值 | 0.5550 | 0.4243 | 0.3643 |

为了验证算法在不同函数下的优化结果，本文将比较记录四种算法在求解两个函数优化问题过程中不同迭代次数的运行结果。