1. 基于粒子群算法的软件补偿方法及算法硬化

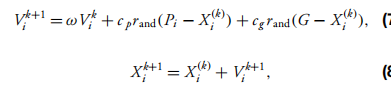
4.1 粒子群算法

4.1.1 粒子群算法基本原理

粒子群算法(Particle Swarm optimization,PSO)是一种启发于鸟群协同捕食行为的智能算法，利用种群与个体之间的信息交互来寻找问题的最优解，具有较高的搜索效率和精度【1】，已广泛应用于函数优化等领域【2】。

可以假设这样一个场景：一群鸟在随机的搜寻食物，并且搜寻空间里只有一块食物，所有的鸟都不知道食物在哪里，并且所有鸟的初始位置和搜寻方向都是随机的。在该场景下，一个找寻食物的最优策略就是搜寻离食物最近的鸟的周围。距离食物的距离就代表着优化效果的好坏，而鸟群每个时刻所处在的位置，就代表着粒子群算法覆盖到的迭代值，整个空间即为粒子群算法的搜索空间，将该方式抽象成算法，如图4.1所示。

由图4.1中可以看出，粒子群算法的第一步是对种群进行初始化，即设定优化对象的迭代起点，并根据目标函数计算出与起点对应的适应度（Fitness,下文简称fit），并在所有个体的适应度中筛选出最优的，用其对应的迭代起点作为整个种群目前的种群最优解(Global best，下文简称gbest)，而所有个体的个体最优解(Person best，下文简称pbest)，这样就完成了整个算法的初始化。随后使用gbest、pbest对粒子的速度和位置更新进行控制，使迭代方向不断朝着最优的方向进行，即上述“搜寻离食物最近的鸟的周围”的策略，具体的速度更新公式和位置更新公式如下式所示：



式中，和分别表示粒子的速度和位置，下标表示种群中第个粒子，上标表示当前种群为第次迭代；称为惯性因子，是一个衡量全局寻优能力和局部寻优能力的非负参数；和为非负常数，通常设为2;为[0,1]范围内的随机数，pbest\_i为第个粒子的个体历史最优位置，gbest\_i为种群历史最优位置。

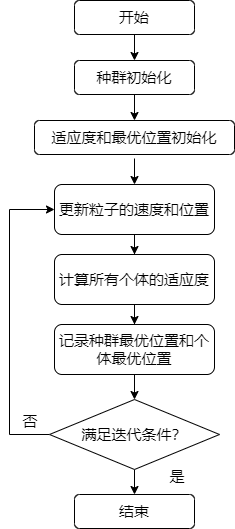


图4.1 粒子群算法流程图

4.1.2 线性惯性权值递减策略

由式1可以看出惯性因子主要控制粒子的历史速度对当前速度的影响，历史速度在当前速度中占比大，则速度的更新将主要集中在历史速度附近，此时粒子群算法的局部寻优能力较强，并且收敛速度较快；若历史速度在当前速度中占比小，则速度的更新将在整个搜索域中进行，此时粒子群算法的全局寻优能力较强，使得搜索结果容易跳出局部优值。

为了在迭代初期，能够有更好的全局寻优能力，尽可能找到搜索域中所有可能的最优解，在迭代后期拥有更好的局部寻优能力，以便快速收敛，在惯性因子的取值上采用线性递减策略【3】，即惯性因子由下式更新。

， (9)

其中和分别为迭代开始时的惯性因子和迭代结束时的惯性因子，为最大迭代次数，为当前的迭代次数。通过对惯性因子使用线性递减策略，可以在迭代过程中不断调整全局寻优能力和局部寻优能力。

但是粒子群算法存在早熟收敛的问题，即当粒子群到达局部最优解附近时，粒子速度的更新主要由自身速度决定，并且由于粒子群算法的惯性因子通常小于1，使得粒子速度的更新幅度将会越来越小，难以跳出该局部最优解【4】。

虽然Edlen公式的诞生方法使其补偿精度和使用条件受到一定影响，但原始的Edlen公式为PSO算法提供了一个优秀的搜索起点，相当于大幅压缩了PSO算法的搜索空间，这能非常有效地避免早熟收敛问题的出现。

4.2 基于粒子群算法优化后的Edlen公式补偿方法

4.2.1 数据预处理

4.2.2 改进前后的补偿效果对比

4.3 基于分段加窗的粒子群算法补偿方法

4.3.1 为什么要分段加窗

4.3.2 算法框图

4.3.3 补偿效果对比

4.4 Edlen公式与PSO算法相结合的优越性

4.4.1 优秀的目标函数形式

4.4.2 避免早熟收敛现象

4.5 粒子群算法的硬化

4.5.1 16bit整数+8bit小数的定点数据方案

4.5.2 除法变乘法

4.5.3 补码求平均

4.5.4 字符串操作

4.6 硬化前后的算法验证框架与方法

4.7 本章小结

1. 基于粒子群算法的硬件方法及硬件误差分析

5.1 硬件设计方法与分析

5.1.1 硬件设计在并行计算上的优越性

5.1.2 流水线技术与握手控制

5.1.3 资源共享与逻辑复制

5.1.4 门控时钟

5.1.5 乒乓buffer

5.2 硬件架构

5.2.1 总体架构

5.2.2 适应度计算模块架构

5.2.3 种群更新模块架构

5.2.4 速度更新模块架构

5.3 寄存器说明与配置流程

5.4 双差分验证环境与方法

5.5 资源使用情况

5.6 本章小结

六、软硬件补偿方法的性能对比与误差分析

6.1 运行时间性能对比

6.1.1 软件运行时间

6.1.2 硬件时序约束

6.2 补偿效果性能对比

6.3 性能影响因素

6.3.1 不同种群大小的影响

6.3.2 不同适应度计算方法的影响

6.4 误差分析

七、总结与展望

八、参考文献

1. 潘红丽. 基于改进粒子群算法的垃圾清运车辆低碳路径规划[D].南京信息工程大学,2022.DOI:10.27248/d.cnki.gnjqc.2022.001107.
2. Liao Y , Zhang Z , Wang N , et al. Environmental compensation of laser interferometer based on particle swarm algorithm[J]. Applied optics, 2022(13):61.
3. 冯浩, 李现伟. 一种改进的粒子群优化算法惯性权值递减策略 [J]. 蚌埠学院学报, 2015, 4(06): 21-4.
4. 范培蕾, 张晓今, 杨涛. 克服早熟收敛现象的粒子群优化算法 [J]. 计算机应用, 2009, 29(S1): 122-4+48.