



家庭粒子群算法

——方法 理论与性能分析

● 安镇宙 著



科学出版社

家庭粒子群算法 ——方法 理论与性能分析

安镇宙 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以家庭社会学和粒子群算法为研究对象,研究家庭社会学和粒子群算法的特征对应关系,并对该特征关系进行数学化描述;重点研究家庭结构、家庭关系、单家族管理、多家族管理、方向性和分段变异 6 个方面对家庭粒子群算法性能的影响,本书的研究成果将为家庭社会学和粒子群算法提供一种相互借鉴、相互解释的全新思路,同时拓展和深化家庭社会学和群体优化算法的应用领域。

本书可供人工智能、自动化、计算机科学、社会学等相关领域的研究生、教师和科研人员及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

家庭粒子群算法:方法、理论与性能分析/安镇宙著. —北京:科学出版社, 2017

ISBN 978-7-03-052993-0

I. ①家… II. ①安… III. ①计算机算法 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116685 号

责任编辑:张振华 / 责任校对:王万红
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 7 3/4

字数: 160 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换《东华虎彩》)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135120-2005

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

在粒子群算法的研究中,除了研究如何分群及分群后算法的应用外,每个子群包含多少个粒子、内部采用何种组织结构和子群体间如何组织与协调也是值得关注的研究方向。针对每个子群包含较少粒子数时群体结构的特殊性,受家庭社会学中家庭研究的启发,本书采用社会学视角对粒子群的群体结构进行研究,提出家庭粒子群算法,并对群体内部结构与群间沟通方式对算法的影响进行深入研究,从概念、方法和理论方面拓宽了粒子群算法的研究思路。

本书主要从以下3个方面对家庭粒子群算法进行研究。

1) 从概念方面引入家庭社会学的家庭,提出并研究家庭粒子群算法。该部分首先给出由少量粒子构成家庭的家庭结构、家庭关系的定义,用以研究分群内粒子间的组织结构和互动行为;然后分析由多个家庭形成一个家族的单家族管理和由多个家族形成的多家族管理,用以研究群体间如何组织与协调。实验结果表明一个家庭中包含的粒子数太多或太少,算法的性能都不是很好;当一个家庭中包含2~5个粒子时,算法具有较高的收敛精度。

2) 从方法方面引入家庭角色,利用不同家庭角色拥有不同分工,引入方向性与分段变异策略,提出并研究基于家庭角色的家庭粒子群算法,使之能更好地平衡粒子群的全局探索和局部改进能力。该部分通过为不同方向的粒子设置不同分工,使算法更快地收敛到全局最优区域;通过使用分段变异,让群体能实现自我寻找适合不同优化问题所需的变异概率。实验结果表明,针对不同测试函数,新算法在收敛精度和进化速度方面有明显优势。

3) 从理论方面对家庭粒子群算法进行研究。该部分利用家庭中粒子间的交互性,通过分析家庭粒子群算法的参数设置,提出家庭粒子群算法的奇偶性;通过对家庭粒子群算法奇偶性的理论分析,得出家庭粒子群算法的收敛条件,进一步推导出两类使家庭粒子轨迹发生规律变化的不同参数设置,并利用粒子轨迹图进行验证和演示。

最后对全书进行总结,并对家庭粒子群算法的进一步研究进行展望。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目(项目编号:61563055)、云南省教育厅科学研究基金重点项目(项目编号:2015Z178)、河南省高等学校重点科研项目(项目编号:16A413012)的支持,在此,致以衷心的感谢。

本书撰写时参考了大量国内外的文献与著作，已注明并列出，但可能仍有疏漏，在此，向相关文献作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请学者及广大读者不吝指正。

安镇宙

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外研究进展	1
1.2 主要内容	3
1.3 创新点与结构安排	3
第 2 章 基于家庭的粒子群算法	6
2.1 引言	6
2.2 家庭粒子群算法的基本思想	6
2.2.1 标准粒子群算法	6
2.2.2 家庭粒子群算法的基本模型	7
2.2.3 家庭结构	9
2.2.4 家庭关系	11
2.3 家族管理方式	14
2.3.1 单家族管理方式	14
2.3.2 多家族管理方式	18
2.4 本章小结	22
第 3 章 基于家庭角色的家庭粒子群算法	23
3.1 引言	23
3.2 基于方向性的家庭粒子群算法	23
3.2.1 基于方向性的家庭粒子群	23
3.2.2 算法设计	26
3.3 基于分段变异的家庭粒子群算法	27
3.3.1 分段变异的家庭粒子群	28
3.3.2 算法设计	29
3.4 本章小结	30
第 4 章 家庭粒子群算法的奇偶性与收敛性分析	31
4.1 引言	31

4.2	家庭粒子群算法的奇偶性	31
4.2.1	粒子奇偶性分析	31
4.2.2	粒子奇偶性轨迹图	35
4.3	收敛性分析	38
4.3.1	粒子收敛性分析	38
4.3.2	粒子轨迹图	42
4.4	本章小结	47
第5章	家庭粒子群算法的性能测评	48
5.1	引言	48
5.2	实验环境构建	48
5.2.1	测试函数	48
5.2.2	实验方法	50
5.3	不同家庭结构性能测评	52
5.3.1	实验参数设置	52
5.3.2	实验结果	52
5.3.3	实验分析	68
5.4	不同家庭关系性能测评	69
5.4.1	实验参数设置	69
5.4.2	实验结果	70
5.4.3	实验分析	85
5.5	不同家族管理方式性能测评	87
5.5.1	实验参数设置	87
5.5.2	实验结果	88
5.5.3	实验分析	96
5.6	基于方向性的家庭粒子群算法性能测评	97
5.6.1	实验参数设置	97
5.6.2	实验结果	98
5.6.3	实验分析	99
5.7	基于分段变异策略的家庭粒子群算法性能测评	100
5.7.1	实验参数设置	100
5.7.2	实验结果	101
5.7.3	实验分析	104
5.8	本章小结	105

第 6 章 总结和展望	106
6.1 本书总结	106
6.2 工作展望	108
致谢	109
参考文献	110

第 1 章 绪 论

1.1 国内外研究进展

粒子群优化算法 (particle swarm optimization, PSO) 是一种基于群体的随机优化方法, 源于对鸟类群体觅食行为的研究^[1,2]. 它是一种离散算法, 其特点是收敛速度较快、算法简单, 已应用于许多领域来解决各种优化问题^[3-6]. 然而, PSO 仍需进一步完善.

1) 对于有多个局部极值点的函数, PSO 容易陷入局部极值点中, 造成早熟收敛. 造成该问题的原因可能有两种: 一是待优化函数的性质; 二是整个迭代过程中, 如果粒子遇到局部极值, 所有粒子的速度可能很快降为零, 这样粒子群算法中群体的多样性迅速消失, 造成早熟收敛.

为了提高种群多样性, Løvbjerg 等^[7]提出了一种利用不同子群的粒子进行繁殖操作的协作 PSO 模型. 这种子群繁殖方法只有在种群规模较大时才具有更好的性能. Brits 等^[8,9]针对多模问题提出小生境 PSO, 同时使用多个子种群来定位和跟踪多个最优解. Jason 等提出了分层粒子群算法 (hierarchical particle swarm optimization, HPSO), 群体按照分层的方式组成树型结构^[10,11]. van den Bergh 和 Engelbrecht 提出了协作粒子群算法, 将一个解向量拆分成多个更小维度的子向量, 并对每个子向量使用一个单独的子群来进行优化^[12]. 其难点是如何计算子群中的粒子的适应度值.

目前, 在研究粒子群算法的分群与分层时, 每个子群包含多少个粒子、子群内部采用何种组织结构和子群体间如何组织与协调都是值得深入研究的问题, 但现有研究群体结构的方法中很少有文章对上述问题进行详细讨论. 因此, 对粒子群算法群体结构的研究仍需进一步突破和完善.

2) 将变异算子引入粒子群算法, 但变异概率的取值目前还没有一个统一的标准, 大多数以经验而定.

变异算子是进化计算技术的一部分, 它能够把当前个体的变种引入群体中. 因此, 把变异算子引入粒子群算法能给一些粒子提供探索新的搜索空间的机会.

Stacey^[13]等提出了具有 Cauchy 变异的粒子群算法, Higashi 和 Iba^[14]提出了

具有 Gaussian 变异的粒子群算法, Esquivel 和 Coello^[15] 提出了具有 Michalewicz 变异的粒子群算法, Ling 等^[16] 提出了具有 Wavelet 变异的粒子群算法, 等等. 在这些混合算法中, 随机数是通过概率分布函数产生的, 个体以某一概率被选中去更新其位置和速度. 因此, 针对不同的优化问题, 确定适合的变异概率仍需进一步探索.

3) PSO 的大多数理论研究都建立在粒子群简化模型(只存在单个粒子, 粒子位置和速度的更新忽略了随机数的影响)的基础上.

Ozcan 和 Mohan^[17] 首先对简化模型进行研究, 简化模型中只有一个粒子, 搜索空间是一维空间, 忽略随机性. 在这种简化的条件下, 粒子沿着一条由正弦波定义的路径前进, 波的频率和振幅由实时参数决定. 随后, Ozcan 和 Mohan^[18] 对上述条件进行了扩展, 研究了多维搜索空间的情况. 但是, 以上分析仅限于没有惯性权重的简单 PSO 模型, 并且假定群体最优和个体最优保持不变.

Clerc 和 Kennedy^[19] 在将随机系数视作常数的假定下, 利用线性系统的理论, 依据系统稳定判据, 得到一个二阶线性动态系统, 给出了粒子群算法参数选择的合理范围. van den Bergh^[20] 对基于确定型版本的 PSO 进行了类似的分析, 确定了在参数空间中保证稳定性的区域, 给出了标准粒子群算法的全局收敛性和局部收敛性的分析, 并在此基础上提出了一种保证局部收敛的 GCP SO.

Ioan 采用系统动力学原理, 把随机数设置为它们的数学期望值, 分析了 PSO 的收敛性和参数选择^[21].

Kadirkamanathan 等^[22] 采用李雅普诺夫稳定性分析和被动系统的概念, 对粒子动力学的稳定性进行了分析. 该分析针对群体最优和个体最优位置相同进行, 没有假定所有参数均为非随机的限制, 得出了可以保证粒子算法收敛的一些宽松条件.

Clerc^[23] 研究了处于停滞阶段的微粒群算法的迭代过程, 对迭代过程中的各随机系数进行了详细的研究, 给出了各随机系数的概率密度函数.

李宁^[24] 将 Markov 链用于 PSO 的分析, 得到了在不考虑随机量且群体最优和个体最优不变的假设下, 单个粒子运动轨迹收敛的条件不等式, 并讨论了单个粒子运动轨迹与算法收敛性之间的关系.

很显然, 简化模型忽略了群体间粒子的交互性和算法的随机特性. 因此, 粒子群算法的数学基础仍需进一步深化, 其研究空间仍需进一步拓展.

1.2 主要内容

本书的主要内容包括以下4个方面。

1) 引入家庭社会学中家庭的概念, 提出家庭粒子群算法, 研究粒子群算法中少量粒子构成家庭的家庭结构、家庭关系和多个家庭形成家族后的家族管理方式, 通过实验分析不同家庭结构和家庭关系对算法性能的影响, 得到使算法取得较好性能的家族数和家庭中成员数的取值范围。

2) 利用家庭成员扮演的不同家庭角色, 引入方向性, 使家庭成员具有自我判别飞行方向和自我控制飞行速度的能力; 引入分段变异的策略, 让群体实现自我寻找适合不同优化问题所需的变异概率。通过实验分析得到具有方向性的家庭粒子群能以更快的速度收敛到最优区域, 且在个体变异上有更好包容性的结论。

3) 通过分析家庭粒子群算法的参数设置, 发现家庭粒子群算法的奇偶性; 通过对家庭粒子群算法奇偶性的理论分析, 得出家庭粒子群算法的收敛条件, 进一步推导出两类使家庭粒子轨迹发生规律变化的不同参数设置, 并利用粒子轨迹图进行验证和演示。

4) 从家庭粒子群算法的家庭结构、家庭关系、单家族管理、多家族管理、方向性和分段变异策略的应用共6个方面对家庭粒子群算法进行测评, 共做了10个实验, 每个实验运行50次, 每次的最大迭代次数设为3000次; 先后比较了21种算法(其中有3种重复使用), 从算法的准确度、鲁棒性、效率和可靠性4个方面来评价验证提出算法的有效性。最后全面统计分析实验结果, 给出算法的适应范围, 总结出具有指导意义的实验结论。

1.3 创新点与结构安排

本书研究工作的创新点主要体现在以下方面。

(1) 引入家庭社会学中家庭的概念

群体结构不仅是社会学所关心的问题, 而且适用于粒子群算法研究。家庭社会学中关于家庭研究的理论和方法对于研究粒子群算法中粒子间的组织与协调具有很好的启发作用。因此, 本书首先引入家庭社会学中家庭的概念, 提出家庭粒子群算法; 其次分析多个家庭形成一个家族的单家族管理和多个家族形成的多家族管理模式, 并在分析过程中给出家庭粒子群算法的基本模型和算法分析。

实验结果表明, 家庭粒子群算法是一种有效的优化算法, 其特点如下:

1) 一个家庭中包含较少粒子。

2) 家庭内, 粒子间可通过随机方式和拓扑距离方式组织, 通过平等关系和代际关系协调。

3) 家庭与家庭之间可通过家庭树型方式组织。与标准粒子群算法、分群粒子群算法和分层粒子群算法相比, 基本家庭粒子群算法在时间复杂度不变的情况下, 提高了存储空间利用率。

(2) 引入方向性与分段变异策略

由于家庭角色的不同, 所以成员的分工也不同^[25-27]。一个家庭中存在若干粒子, 如果将不同方向的粒子进行不同的角色分工, 就可以减少粒子的盲目搜索, 提高群体的智能性, 加快算法到达最优区域的速度。同时, 利用不同的家庭角色, 一部分粒子充当存储者的角色, 保存目前家庭的搜索状态; 另一部分粒子通过变异充当探索者的角色, 增加群体的多样性。

因此, 本书利用家庭成员扮演的不同家庭角色, 首先引入方向性, 将不同方向的粒子进行不同的角色分工, 使家庭成员具有自我判别飞行方向和自我控制飞行速度的能力; 其次引入分段变异的策略, 让群体实现自我寻找适合不同优化问题所需的变异概率, 使具有分段变异策略的家庭粒子群具有更好的平衡粒子群算法的全局探索和局部改进能力。

实验结果表明, 与标准粒子群算法和具有一般变异特征的粒子群算法相比, 基于家庭角色的家庭粒子群算法具有以下明显优势:

1) 带有方向性的家庭粒子可减少盲目性, 算法能更快地收敛到全局最优区域。

2) 具有分段变异概率的粒子群算法在收敛精度和进化速度方面有明显优势。

(3) 发现了家庭粒子群算法的奇偶性

为了深化粒子群算法的数学基础并拓展其研究空间, 从理论上对粒子群算法进行严格的数学证明是非常重要的。但目前大多数理论研究都建立在粒子群简化模型的基础上, 忽略了群体间粒子的交互性和算法的随机特性。

因此, 本书利用家庭中粒子间的交互性, 在理论方面对家庭粒子群算法进行探索研究, 通过分析家庭粒子群算法的参数设置, 提出家庭粒子群算法的奇偶性; 通过对家庭粒子群算法奇偶性的理论分析, 得出家庭粒子群算法的收敛条件, 进一步推导出两类使家庭粒子轨迹发生规律变化的不同参数设置。

实验部分通过设置不同的家庭, 家庭中有不同的粒子, 利用不同粒子的粒子轨迹图, 全面演示粒子的运行状态, 验证算法的奇偶性和收敛条件, 扩展粒子群算法的理论研究空间。

本书按以下结构组织研究工作的内容。

第1章为绪论，概述粒子群算法的研究进展及需要进一步完善的问题。

第2章为基于家庭的粒子群算法，引入家庭社会学中家庭的概念，分析多个家庭形成家族后的家族管理方式。

第3章为基于家庭角色的家庭粒子群算法，引入方向性和分段变异的策略。

第4章为家庭粒子群算法的奇偶性与收敛性分析，是家庭粒子群算法在理论方面的探索研究，提出家庭粒子群算法的奇偶性，得出家庭粒子群算法的收敛条件，并利用粒子轨迹图进行验证和演示。

第5章为家庭粒子群算法的性能测评，是家庭粒子群算法的实验部分，共做了10个实验，给出算法的适应范围和实验结果，总结出粒子群算法研究中具有指导意义的实验结论。

第6章为总结和展望，对本书进行总结，阐述下一步的研究工作。

本书主要从概念、方法及理论上对家庭粒子群算法进行研究，概念上提出家庭粒子群算法，方法上引入家庭角色的概念，理论上探索家庭粒子群算法的奇偶性与收敛性；从家庭结构、家庭关系、单家族管理、多家族管理4个方面对在粒子群算法中引入家庭概念的有效性进行验证；从方向性和分段变异策略的应用两个方面对在粒子群算法中引入家庭角色概念的有效性进行验证；验证时，从测试函数的不同维数到群体的规模大小，从家庭成员数大小到包含家庭的多少、从家庭的组织到家庭的管理等方面进行全面的比较分析，给出算法的适应范围和实验结果，得出在粒子群算法研究中具有指导意义的实验结论。

第2章 基于家庭的粒子群算法

2.1 引言

群体结构不仅是社会学所关心的问题，而且适用于粒子群算法研究。在研究群体结构时，可将粒子群体进行分群^[7]或分层^[10,11]，如果每个子群包含粒子数较多，则仍可以使用现有的技术分析各个子群；如果每个子群包含粒子数较少，如包含两个粒子，则此时讨论这两个粒子是使用环形结构还是星形结构，意义不大。

本章首先引入家庭社会学中家庭的概念，提出家庭粒子群算法，给出由少量粒子构成家庭的家庭结构、家庭关系的定义，用以研究分群内粒子的组织结构和互动行为；然后分析多个家庭形成一个家族的单家族管理和多个家族形成的多家族管理，用以研究群体间的组织与协调能力，并在分析过程中给出了家庭粒子群算法的基本模型和算法分析。

2.2 家庭粒子群算法的基本思想

2.2.1 标准粒子群算法

在一个 D 维的目标搜索空间中，一个群体由 n 个粒子构成，其中，第 i 个粒子 ($i=1, 2, \dots, n$) 由 3 个矢量表示：位置矢量 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}, \dots, x_{iD})$ ，速度矢量 $\mathbf{V}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}, \dots, v_{iD})$ 和迄今为止搜索到的粒子最优位置矢量 $\mathbf{p}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id}, \dots, p_{iD})$ 。对于整个群体而言，整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置设为 $\mathbf{p}_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd}, \dots, p_{gD})$ 。

粒子群算法在更新群体时，每个粒子根据以下公式更新速度和位置：

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 [p_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2 r_2 [p_{gd}(t) - x_{id}(t)], \quad (2.1)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1), \quad (2.2)$$

其中， $i=1, 2, \dots, n$ ， t 为迭代次数； ω 为惯性权重； r_1 和 r_2 为 $[0,1]$ 之间的随机数； c_1 和 c_2 为学习因子，它们使粒子具有自我总结和向群体中优秀个体学习的能

力; 速度 v_{id} 的取值范围为 $[v_{\min}, v_{\max}]$; 位置 x_{id} 的取值范围为 $[x_{\min}, x_{\max}]$.

2.2.2 家庭粒子群算法的基本模型

粒子群算法在分群或分层时, 需要深入考虑以下问题.

- 1) 如何分群?
- 2) 每个子群包含多少个粒子?
- 3) 子群体内部采用何种组织结构?
- 4) 子群体间如何组织与协调?

以上问题中, 每个子群包含多少个粒子、子群内部采用何种组织结构和子群体间如何组织与协调很少有文章详细讨论. 原因在于在分群时, 如果每个子群包含粒子数较多, 则仍可以使用现有的技术分析各个子群; 如果每个子群包含粒子数较少, 如包含两个粒子, 则此时讨论这两个粒子是使用环形结构还是星形结构, 意义不大, 必须寻找新的思路来研究粒子群的群体结构.

群体结构不仅是社会学所关心的问题, 而且适用于粒子群算法研究. 在社会学中, 初级社会群体, 是由面对面互动形成的具有亲密人际关系的社会群体^[28]. 而在家庭社会学中, 家庭具备了初级群体的基本要素: 面对面接触, 成员较少和有频繁的互动^[29]. 如果把一个粒子看作一个家庭成员, 那么, 家庭社会学中关于家庭研究的理论和方法对于研究粒子群算法中粒子间的组织与协调具有很好的启发作用.

1. 家庭粒子群算法的设计思想

定义 2.1 家庭系统

由 q 个粒子构成一个家庭系统 (family system, FS), 其中 $q \geq 1$. 在家庭系统中, 各个粒子间具有合作与竞争的关系.

定义 2.2 家庭粒子群系统

由 m 个家庭系统构成一个家庭粒子群系统 (family particle swarm system, FPSS), 其中 $m \geq 1$.

定义 2.3 家庭最优值

一个家庭系统中的 q 个粒子迄今为止所找到的历史最优值称为家庭最优值 (family best solution, FBS).

2. 家庭粒子群算法的公式

在一个 D 维的目标搜索空间中, 设第 i 个粒子属于第 k 个家庭系统, 第 k 个

家庭系统在第 t 次迭代过程中搜索到的家庭最优位置为

$$F_i(t) = (F_{i1}(t), F_{i2}(t), \dots, F_{in}(t), \dots, F_{iw}(t)).$$

在第 $t+1$ 次迭代中, 粒子根据以下公式更新速度和位置:

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 [F_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2 r_2 [p_{gd}(t) - x_{id}(t)], \quad (2.3)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1), \quad (2.4)$$

其中, $p_g(t)$ 为全局最优值所在的位置.

3. 家庭粒子群算法的算法流程

步骤 1: 设置和定义家庭粒子群系统.

1) 家庭粒子群系统的参数设置: 初始化函数的定义域 Θ , 函数的维度 D , 群体规模 n , 最大迭代次数 $iter_max$, 惯性权重 ω , 加速因子 c_1 和 c_2 .

2) 家庭系统的参数设置: 初始化每个家庭系统的成员数 q .

3) 初始化家庭系统: 随机生成 n 个粒子, 组成 m 个家庭, 初始化家庭最优值和最优值所在的位置.

4) 初始化家庭粒子群系统: 根据 m 个家庭适应度的大小初始化群体最优值和最优值所在的位置.

步骤 2: 更新家庭粒子群系统.

1) 更新家庭系统: 根据公式 (2.3) 和公式 (2.4) 更新家庭中的每个粒子, 评估每个粒子的适应度, 根据个体适应度的大小更新家庭最优值和最优值所在的位置.

2) 更新家庭粒子群系统: 根据家庭适应度的大小更新家庭粒子群系统最优值和最优值所在的位置.

步骤 3: 与终止条件进行比较, 如果满足终止条件, 则程序结束; 否则跳转到步骤 2.

4. 算法的时间、空间复杂度

与标准粒子群算法相比, 家庭粒子群算法减少了每个粒子与该粒子最优值进行的比较, 增加了与该粒子所在家庭的最优值进行的比较, 因此总的比较次数没有发生改变.

与标准粒子群算法比较, 家庭粒子群算法没有存储每个粒子的最优位置和最优适应度, 却存储了每个粒子所在家庭的最优位置和最优适应度, 当家庭成员数大于 1 时, 其所使用的存储空间将有所减少.

2.2.3 家庭结构

针对一个家庭由少量粒子组成的特点, 本节定义家庭粒子间的组合关系和组合方式.

定义 2.4 家庭结构

一个家庭系统中 q 个粒子之间的组合关系和组合方式称为家庭结构 (family structure, FSt).

1. 随机结构与基于拓扑距离的结构的思想

一个家庭系统中至少包括两种家庭结构, 下面详细介绍.

(1) 随机结构

一个家庭中成员间的联系频率要大于家庭中成员与非家庭中成员的联系. 当家庭成员身处两地时, 他们会经常互通两地的消息. 这种组合方式可以理解为一种随机方式的组合, 无论距离远近, 都可组合为一个家庭.

q 个粒子以随机的方式组合成一个家庭系统, 处于不同位置的粒子间可以互相沟通, 传递消息.

(2) 基于拓扑距离的结构

Ballerini 等^[30] 对椋鸟群体进行了三维建模, 研究表明, 鸟群聚集并不依赖几何距离 (metric distance), 拓扑距离 (topological distance) 才重要. 他们发现每只鸟与固定数量的邻居相交互, 而不是与某一物理距离内的鸟相沟通. 这样, 当鸟群遇到危险时, 为了生存, 它们仍然能够组成一个群体, 保持队形基本不变.

本节引入拓扑距离的思想, 当家庭系统初始化时, 将距离该粒子最近的 $q-1$ 个粒子划入这个家庭系统. 随着粒子的飞行, 不管粒子间距离如何改变, 该家庭系统中的成员保持不变.

定义 2.5 纽带粒子

如果粒子 a 既属于家庭系统 B , 又属于家庭系统 C , 则粒子 a 为家庭系统 B 和 C 的纽带粒子 (link particle). 纽带粒子是不同家庭系统间进行信息共享的桥梁.

在有限空间内, 粒子的空间位置被初始化后, 当家庭系统中只有一个粒子时, 家庭粒子群算法就相当于标准粒子群算法; 当家庭系统中有两个粒子时, 纽带粒子比较少, 整个家庭粒子群系统比较松散; 随着家庭系统中粒子数的增加, 纽带粒子也越来越多, 整个家庭粒子群系统也越来越紧密, 其拓扑距离组合结构如图 2.1 所示.