

RENGONG YUQUN SUANFA

人工鱼群算法

王联合国 施秋红 ◆ 著



 中国农业出版社

人工鱼群算法

王联国 施秋红 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工鱼群算法/王联合国, 施秋红著. —北京: 中国农业出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-109-18999-7

I. ①人… II. ①王…②施… III. ①智能技术—算法理论 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 051468 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 朱 雷

文字编辑 李兴旺

大恒数码印刷 (北京) 有限公司 新华书店北京发行所发行

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 10.75

字数: 160 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

人工鱼群算法是一种基于群体智能的新兴演化计算方法。本书系统地介绍人工鱼群算法的生物学基础、算法的基本原理、改进技术、收敛性及参数分析、种群拓扑结构分析,阐述人工鱼群算法的典型应用及同其他仿生算法的融合,讨论人工鱼群算法的发展方向。

本书包括8章内容。第1章是绪论,介绍智能优化算法及人工鱼群算法的发展现状;第2章介绍人工鱼群算法的基本原理;第3章研究人工鱼群算法的改进;第4章研究人工鱼群算法的种群拓扑结构;第5章研究人工鱼群算法的收敛性,并对算法参数进行分析;第6章介绍人工鱼群算法的典型应用;第7章介绍人工鱼群算法同其他仿生优化算法的融合;第8章对人工鱼群算法的发展进行了展望。

本书可作为高等院校计算机科学、控制科学和管理科学等相关专业高年级本科生、研究生和教师的参考书,也可供工程技术人员及研究人员参考使用。

前 言

人工生命是当前生命科学、信息科学、系统科学及工程技术科学间交叉研究的热点,也是人工智能、计算机、自动化科学技术的发展动向之一。人工鱼群算法(AFSA)是最近几年由国内学者提出的一种基于动物行为的群体智能优化算法,是行为主义人工智能的一个典型应用,该算法已经成为交叉学科中一个非常活跃的前沿性研究课题。人工鱼群算法具有对初值与参数选择不敏感、鲁棒性强、简单易实现、收敛速度快和使用灵活等优点,在连续性优化课题、组合优化、时变系统的在线辨识、鲁棒PID的参数整定、优化前向神经网络、电力系统无功优化、多用户检测器、信息检索和油田多级站定位等应用领域,取得了较好的效果。

本书主要介绍笔者和国内相关学者、专家在人工鱼群算法改进及应用方面的研究成果。全书包括8章内容,第1章介绍智能优化算法及人工鱼群算法的发展现状,第2章介绍人工鱼群算法的基本原理,第3章论述人工鱼群算法的改进,第4章分析人工鱼群算法的种群拓扑结构,第5章研究人工鱼群算法的收敛性并对算法的参数做了分析,第6章介绍人工鱼群算法的典型应用,第7章介绍人工鱼群算法同其他仿生优化算法的融合,第8章对人工鱼群算法的发展进行了展望。

本书的编写得到国家自然科学基金(61063028)、甘肃农业大学青年导师基金(GAU-QNDS-201211)和甘肃省教育信息化发展战略研究基金(2007-08)等项目的资助。

本书引用了许多智能优化算法方面专家和学者的研究成果,鉴于文献众多,遗漏之处恳请谅解,谨致以诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中错误及疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2013年10月10日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 群体智能及算法	2
1.2.1 群体智能的概念	2
1.2.2 群体智能的特点	3
1.2.3 群体智能优化算法统一框架模式	4
1.3 人工鱼群算法	4
1.3.1 人工鱼群算法的生物学基础	4
1.3.2 鱼群算法的基本思想	8
1.4 人工鱼群算法研究进展	9
1.5 本书的组织结构	14
1.6 本章小结	16
参考文献	16
第 2 章 基本人工鱼群算法的原理	22
2.1 引言	22
2.2 人工鱼模型	22
2.3 行为描述	23
2.3.1 定义	23
2.3.2 行为描述	23
2.3.3 行为选择	25
2.3.4 算法描述	26
2.3.5 算法主要特点	27
2.3.6 算法流程	28
2.4 本章小结	28
第 3 章 人工鱼群算法的改进	29
3.1 引言	29

3.2 一种改进的人工鱼群算法	29
3.2.1 引言	29
3.2.2 改进策略	29
3.2.3 改进人工鱼群算法流程	31
3.2.4 仿真实验及分析	31
3.3 基于邻域正交交叉算子的人工鱼群算法	35
3.3.1 引言	35
3.3.2 正交试验的原理	35
3.3.3 邻域正交交叉算子	36
3.3.4 基于邻域正交交叉算子的人工鱼群算法流程	37
3.3.5 仿真实验及分析	37
3.4 多人工鱼群协同优化算法	40
3.4.1 引言	40
3.4.2 多人工鱼群协同优化算法基本原理	40
3.4.3 多人工鱼群协同优化算法流程	40
3.4.4 多人工鱼群协同优化算法特点	41
3.4.5 仿真实验及分析	41
3.5 一种多智能体人工鱼群算法	43
3.5.1 引言	43
3.5.2 智能体	43
3.5.3 多智能体人工鱼群算法	44
3.5.4 仿真实验	46
3.6 基于比例选择算子的人工鱼群算法	51
3.6.1 引言	51
3.6.2 比例选择算子	51
3.6.3 种群选择方案	52
3.6.4 人工鱼的行为描述	53
3.6.5 对人工鱼视野和步长的改进	53
3.6.6 基于比例选择算子的人工鱼群算法流程	54
3.6.7 仿真实验及分析	54
3.7 人工鱼群算法的简化模型	58
3.7.1 引言	58
3.7.2 人工鱼群算法分析	58
3.7.3 人工鱼群算法的简化模型	59

3.7.4 仿真实验及分析	60
3.8 本章小结	64
参考文献	64
第4章 人工鱼群算法的种群拓扑结构分析	66
4.1 引言	66
4.2 影响拓扑结构的主要因素	66
4.3 人工鱼群的拓扑结构和邻域结构	66
4.4 几种常见拓扑结构的性能分析	70
4.4.1 固定迭代次数下的收敛精度	70
4.4.2 固定收敛误差精度下的收敛速度	71
4.5 全局版人工鱼群算法	73
4.5.1 基本原理	73
4.5.2 人工鱼的行为描述	73
4.5.3 行为选择	74
4.5.4 公告板	74
4.5.5 全局版人工鱼群算法流程	74
4.5.6 仿真实验及分析	75
4.6 全局版二进制人工鱼群算法	80
4.6.1 全局版二进制算法提出的原理	81
4.6.2 定义	82
4.6.3 模糊函数	82
4.6.4 人工鱼群初始化	83
4.6.5 人工鱼的行为描述	83
4.6.6 全局版二进制人工鱼群算法流程	84
4.6.7 基于0—1背包问题的全局版二进制人工鱼群算法	85
4.7 基于冯·诺依曼邻域结构的人工鱼群算法	87
4.7.1 人工鱼群的冯·诺依曼邻域结构	87
4.7.2 基于冯·诺依曼邻域结构的人工鱼行为描述	88
4.7.3 行为选择	89
4.7.4 公告板	89
4.7.5 动态视野和步长	89
4.7.6 算法流程	90
4.7.7 算法的特点	90

4.7.8 仿真实验	90
4.8 本章小结	96
参考文献	96
第5章 人工鱼群算法收敛性研究及其参数分析	98
5.1 引言	98
5.2 人工鱼群算法收敛性分析	99
5.2.1 基础知识	99
5.2.2 状态空间分析	100
5.2.3 人工鱼群算法的收敛性证明	101
5.3 参数对算法性能的影响	105
5.3.1 视野和步长对算法性能的影响	105
5.3.2 δ 对算法性能的影响	108
5.3.3 Try_number 对算法性能的影响	110
5.3.4 群体规模对算法性能的影响	111
5.4 参数选择原则	113
5.5 本章小结	114
参考文献	114
第6章 人工鱼群算法的典型应用	116
6.1 引言	116
6.2 人工鱼群算法与水资源工程	116
6.2.1 水位流量关系拟合	116
6.2.2 河流横向扩散系数确定	119
6.2.3 黄河水质综合评价	121
6.2.4 水库优化调度	128
6.2.5 灌区优化配水	128
6.3 人工鱼群算法与组合优化问题	129
6.3.1 旅行商问题	130
6.3.2 生产调度问题	130
6.3.3 产品配置设计问题	130
6.4 人工鱼群算法与参数优化问题	131
6.4.1 参数估计问题	131
6.4.2 鲁棒 PID 控制器参数整定	131

6.5 人工鱼群算法与电力系统问题	132
6.5.1 电力系统短期负荷预测	132
6.5.2 电力系统无功优化	132
6.5.3 配电网开关优化配置	133
6.6 人工鱼群算法与油田系统问题	134
6.6.1 油田注水系统运行优化	134
6.6.2 石油运输系统多级站点定位	135
6.7 人工鱼群算法与环境工程问题	135
6.7.1 空气质量评价问题	136
6.7.2 湖泊富营养化综合评价	136
6.8 人工鱼群算法在其他方面的应用	136
6.8.1 IIR 数字滤波器设计	136
6.8.2 人脸表情识别	137
6.8.3 聚类挖掘问题	137
6.8.4 多项式求解问题	138
6.8.5 计算机网络中路由选择的优化求解	138
6.8.6 单机场地面等待优化	139
6.8.7 机器人加工路径优化	139
6.9 本章小结	139
参考文献	140
第7章 人工鱼群算法同其他仿生优化算法的融合	143
7.1 引言	143
7.2 其他几种仿生算法的基本原理	143
7.2.1 遗传算法	143
7.2.2 蚁群算法	144
7.2.3 粒子群优化算法	145
7.2.4 混合蛙跳算法	146
7.2.5 文化算法	148
7.3 人工鱼群算法与粒子群优化算法的融合	149
7.3.1 PSO 和 AFSA 混合优化算法	149
7.3.2 PSO 和改进的 AFSA	154
7.4 人工鱼群算法与其他算法的融合	155
7.4.1 人工鱼群算法与遗传算法	155

7.4.2 人工鱼群算法与蚁群算法	156
7.4.3 人工鱼群算法与文化算法	156
7.5 本章小结	157
参考文献	157
第8章 展望	159
8.1 引言	159
8.2 人工鱼群算法的改进	159
8.3 人工鱼群算法的理论分析	160
8.4 人工鱼群算法的应用领域	160
8.5 人工鱼群算法的并行实现及其硬件实现	160
8.6 人工鱼群算法的智能融合	161
8.7 人工鱼群算法的离散模型研究	161
8.8 本章小结	161

第1章

绪 论

1.1 引 言

当前科学技术正进入多学科相互交叉、相互渗透、相互影响的时代。随着人类探索脚步的不断前进,复杂性、非线性、系统性的问题越来越多地呈现在人们眼前。面对系统的复杂性,传统方法已经逐渐陷入困境^[1],寻找一种适合大规模并行操作且具有智能特征的优化算法已成为有关学科的一个主要研究目标。

最优化是人们在工程技术、科学研究和经济管理等诸多领域经常遇到的问题,它广泛应用于工业、农业、国防、工程、交通、金融、化工、能源、通信等许多领域,如在资源利用、结构设计、调度管理、后勤供应等许多领域产生了巨大的经济效益和社会效益。优化在结构力学、生命科学、材料科学、环境科学、控制论等其他科学研究领域也有广泛应用。国内外的应用实践表明,在同样条件下,经过优化技术的处理,对系统效率的提高、能耗的降低、资源的合理利用及经济效益的提高等均有显著的效果,而且随着处理对象规模的增大,这种效果也更加显著^[1-2]。

目前,基于严格机理模型的开放式方程建模与优化已成为国际上公认的主流技术方向。许多工程公司和各大科研机构纷纷投入大量的人力物力对系统的建模与优化进行深入细致的研究,企图取得突破性的进展。然而,基于严格机理模型所得到的优化命题往往具有方程数多、变量维数高、非线性强等特点,这使得相关变量的存储、计算及命题的求解都相当困难^[3]。比如,一个典型的流程工业系统全联立方程的维数通常在上万甚至数十万之多,这其中包括所有的单元模型方程、物性计算方程、流程连接方程,求解如此庞大的优化命题本身就已相当困难,更难以到工业现场实施在线应用。不仅工业界存在优化问题,在国民经济的各个领域也存在着相当多的涉及因素多、规模大、难度高和影响广的优化命题,如运输中的最优调度、生产流程的最优排产、资源的最优分配、农作物的合理布局、工程的最优设计以及国土的最优开发等,所有这些

问题的解决也必须有一个强有力的优化工具来进行求解。常规的优化算法面对这样的大型问题已无能为力,无论是在计算速度、收敛性、初值敏感性等方面都远不能满足要求。因此,针对常规优化算法遇到的难点,研究群体智能的优化方法来解决这些问题具有很重要的意义。

应用实践证明,群体智能优化算法能够被用于解决大多数优化问题或者能够转化为优化求解问题。现在其应用领域已扩展到多目标优化、数据分类、数据聚类、模式识别、流程规划、信号处理、机器人控制、系统辨识等方面。群体智能优化算法在没有集中控制且不提供全局模型的前提下,为寻找复杂的分布式问题的解决方案提供了基础^[4],其中具有代表性的群体智能优化算法有蚁群算法^[5-12]、粒子群优化算法^[13-20]、混合蛙跳算法^[21]和人工鱼群算法^[22-24]。

1.2 群体智能及算法

人们在很早的时候就对自然界中存在的群集行为感兴趣,如大雁在飞行时自动排成人字形,蝙蝠在洞穴中快速飞行却可以互不碰撞等。对于这些现象的一种解释是,群体中的每个个体都遵守一定的行为准则,当它们按照这些准则相互作用时就会表现出上述的复杂行为。基于这一思想,Craig Reynolds 在 1986 年提出一个仿真生物群体行为的模型 BOID^[25]。这是一个人工鸟系统,其中每只人工鸟被称为一个 BOID,它有三种行为:分离、列队及聚集,并且能够感知周围一定范围内其他 BOID 的飞行信息。BOID 根据该信息,结合其自身当前的飞行状态,并在那三条简单行为规则的指导下做出下一步的飞行决策。Reynolds 用计算机动画的形式展现了该系统的行为,每个 BOID 能够在快相撞时自动分开,遇到障碍物分开后又重新合拢,这实际上就是一种群体智能模型。尽管这一模型出现在 1986 年,但是群体智能 (swarm intelligence) 概念被正式提出的时间并不长。一个显著的标志是 1999 年由牛津大学出版社出版的 E Bonabeau 和 M Dorigo 等人编写的一本专著《群体智能:从自然到人工系统》(《Swarm Intelligence: From Natural to Artificial System》)^[26]。

目前,对群体智能的研究尚处于初级阶段,但是它越来越受到国际智能计算研究领域学者的关注,逐渐成为一个新的重要的研究方向。

1.2.1 群体智能的概念

在自然界中,随着漫长的进化和适应,一些低级生物的觅食和生活方式形成了它们与高级生物所不同的特有的方式,其中最明显的区别是它们不具备人类所认为的高级智能,由于它们(蚂蚁、鸟类、鱼类等)通常以群居的方式生

活和觅食,所以人工生命的研究者们称这一现象为群体智能^[27-29],群体智能中的群体指的是“一组相互之间可以进行直接通信或者间接通信(通过改变局部环境)的主体,这组主体能够合作进行分布问题求解”。群体智能指的是“简单智能的主体通过合作表现出复杂智能行为的特性”。Bonabeau 等人将任何启发于群居性生物群体的集体行为而设计的算法和分布式问题解决装置都称为群体智能。

社会性动物的妙处在于:个体的行为规则相当简单,但当它们协同工作时,群体能够“突现”出非常复杂(智能)的行为特征。如鸟群在没有集中控制的前提下能够同步飞行;蚂蚁总能够找到一条从蚁穴到食物源的最短路径;鱼类一般都能够找到营养物质丰富的地方并聚集成群。

群体智能应该遵循五条基本原则^[30],分别为:

(1) 邻近原则(proximity principle),群体能够进行简单的空间和时间计算。

(2) 品质原则(quality principle),群体能够响应环境中的品质因子。

(3) 多样性反应原则(principle of diverse response),群体的行动范围不应该太窄。

(4) 稳定性原则(stability principle),群体不应在每次环境变化时都改变自身的行为。

(5) 适应性原则(adaptability principle),在所需代价不太高的情况下,群体能够在适当的时候改变自身的行为。

这些原则说明实现群体智能的智能主体必须能够在环境中表现出自主性、反应性、学习性和自适应性等智能特性。但是,这并不代表群体中的每个个体都相当复杂,事实恰恰与此相反。就像单只蚂蚁智能不高一样,组成群体的每个个体都只具有简单的智能,它们通过相互之间的合作表现出复杂的智能行为。可以这样说,群体智能的核心是由众多简单个体组成的群体能够通过相互之间的简单合作来实现某一功能,完成某一任务。其中“简单个体”是指单个个体只具有简单的能力或智能,而“简单合作”是指个体和与其邻近的个体进行某种简单的直接通信或通过改变环境间接与其他个体通信,从而可以相互影响、协同动作。

1.2.2 群体智能的特点

群体智能具有以下特点^[30]:

(1) 群体中相互合作的个体是分布式的,不存在直接的中心控制。因而它更能够适应当前网络环境下的工作状态,并且具有较强的鲁棒性,即不会由于

某一个或几个个体出现故障而影响群体对整个问题的求解。

(2) 每个个体只能感知局部信息,不能直接拥有全局信息,并且群体中每个个体的能力或遵循的行为规则非常简单,因而群体智能的实现比较方便,具有简单性的特点。

(3) 个体之间通过非直接通信的方式进行合作,由于群体智能可以通过非直接通信的方式进行信息的传输与合作,因而随着个体数目的增加,通信开销的增幅较小,也就是说,它具有较好的可扩充性。

(4) 自组织性,即群体表现出来的复杂行为是通过简单个体的交互而突现出来的智能(emergent intelligence)。

1.2.3 群体智能优化算法统一框架模式

群体智能优化算法是一类基于概率的随机搜索进化算法,各个算法之间在结构、研究内容、计算方法等方面具有较大的相似性。因此,群体智能优化算法可以建立一个基本理论框架模式^[31]:

Step1: 设置参数,初始化种群。

Step2: 计算其适应值。

Step3: 根据某种规则,产生下一组解。

Step4: 判断终止条件是否满足。如果满足,结束迭代;否则,转向Step2。

各个群体智能优化算法之间最大的不同在于算法更新规则上,有基于模拟群居生物运动步长更新的(如PSO、AFSA与SFLA),也有根据某种算法的机理设定更新规则(如ACO)。统一框架下的群体智能优化算法,可以根据优化对象的特性智能地选择适合的更新规则,进行运算得到理想的优化结果。

1.3 人工鱼群算法

1.3.1 人工鱼群算法的生物学基础

鱼类,属于脊索动物门中的脊椎动物亚门,是最古老的脊椎动物。目前全球已命名的鱼种在26 000种以上。它们几乎栖居于地球上所有的水生环境——从淡水的湖泊、河流到咸水的大海和大洋。鱼类是终年生活在水中,用鳃呼吸,用鳍辅助身体平衡与运动的变温脊椎动物。

1. 鱼群的概念 时刻调整自己的速度和方向以配合群中其他成员的三尾或三尾以上的鱼的组合即称为鱼群,图1.1为海底鱼群^[32]。

2. 鱼群的外部结构 对于不同种的鱼类,鱼群的形状、大小都是不同的。



图 1.1 鱼 群

即使同一种类的鱼，鱼群的这些外部构造也将会随时间、地点、鱼的生理状态及环境条件等而变化。

前苏联学者发现，黑海竹筴鱼群的形状随着其行为的改变而改变，竹筴鱼在缓慢游泳时成两端变细的形状，在索饵时为圆形，在防御时成密集的形状或包围捕食鱼的形状，在受到进一步威吓时会潜入深处。鱼类的主要群体队形如图 1.2 所示。

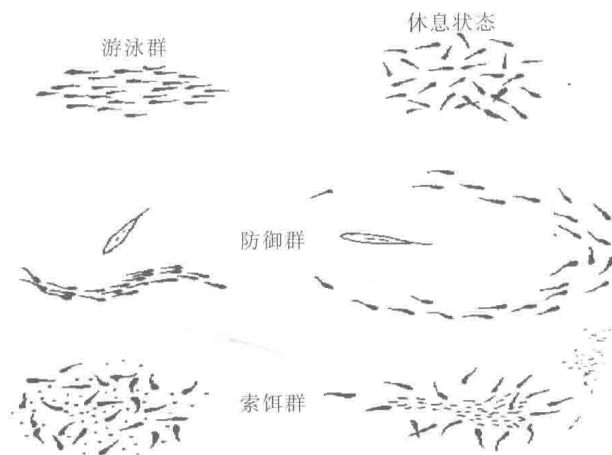


图 1.2 鱼类的主要群体队形

3. 鱼群的内部结构 鱼群的内部结构是相当松散的，或者说是一种随机结构，而且这种结构是由于每尾鱼都遵守一些简单的行为规则而形成的。鱼群中的每个个体在其周围都要保持一定的空间。每一种鱼都有一特定的最小接近

距离,邻近的鱼不能超越此距离。最小接近距离取决于鱼的大小,通常约为体长的 $3/10$ 。但是,最小接近距离并非就是鱼群中鱼与鱼之间通常所保持的距离。在每一种鱼中,都有一种对其最邻近鱼的典型偏好距离,通常是一个鱼体长。由于鱼不断调节自身的方向,所以,群体中各尾鱼之间的空间关系总是在发生改变。这样一来,即使对同一尾鱼来说,它到最邻近鱼的距离也并不是一样的。任何一种鱼都还有这样的一种倾向,即它总是使最邻近鱼与自己体轴保持在一定角度上,这一角度被称为偏好角度,偏好角度也是一个统计学上的量。在任何时刻,只有几尾鱼与其最邻近鱼保持在偏好角度上。但就长时间而言,各尾鱼主要都是与其最邻近鱼保持在偏好角度上。总之,大多数鱼群的结构看来都是以同样的方式——通过保持偏好距离和偏好角度而组织起来的。

4. 鱼类的几种主要行为 鱼类的主要行为有觅食行为、集群行为、繁殖行为、躲避逃逸行为、洄游行为、追逐行为、随机游动和离开行为等^[33-38]。

(1) 觅食行为。在摄食行为中,虽然一些鱼类主要是视觉定向,另一些鱼类主要依靠嗅觉,但是鱼类奇异的感觉给予它们摄食行为中一种极大的灵活性。一定的环境促进某些感觉的应用超过其他,但大多数感觉功能能达到一定程度并被应用。鱼类通过听侧线系统可以察觉潜在食物的存在,跟踪气味向食物运动,最后通过视觉、味觉、感觉或者通过电定位来捕获食物。

(2) 集群行为。集群行为是鱼类经过长期自然选择而被保留的一种适应性,对鱼类的生存起着十分有利的作用。在集群行为的生物学意义中,最有说服力的就是饵料鱼群对捕食的防御作用。现在普遍认为,集群行为不仅可以减少饵料鱼被捕食鱼发现的概率,而且可以减少已被发现的饵料鱼遭到捕食鱼成功捕杀的概率。

研究发现,不但饵料鱼会集结成群,而且某些捕食鱼也是集群的。由此可以断定,集群行为在捕食鱼生活中也有一定的作用。

捕食鱼形成群体之后,不仅感觉器官总数会增加,而且还可以增加搜索面积。鱼群中的一个成员找到了食物,其他成员也可以捕食。它们是通过本身色型的变化、特定的电频信号或水流、水位的变化来显示食物源被找到。如果鱼群中成员之间的距离勉强保持在各自的视线之内,则搜索面积最大。因此,鱼类在群体中比单独行动时能更多更快找到食物。

Radakov 指出,捕食鱼的集群也是一种适应,其作用在于更容易地捕食饵料,主要表现在以下几个方面:①围捕饵料鱼,切断饵料鱼的退路;②将饵料鱼从其平常的隐蔽场所赶出,表层性捕食鱼将饵料鱼驱赶到水面,并轻易地将它们吃光;③如果捕食鱼群中的某几尾鱼发现饵料鱼,那么,其行为的变化也将会成为信号并传递至其他鱼,于是,群体中的所有鱼便能捕食处于各自附近