

基于群体智能框架理念的遗传算法总体模式描述

康琦,汪镭,刘小莉,吴启迪
(同济大学 电子与信息工程学院,上海 200092)

摘要: 在各类群体智能算法中,不同的智能体群往往具有不同的外在表现形式,但他们所表现出来的智能计算模式具有相对的统一性. 为了验证这一理念并从宏观的视角来研究群体智能理论,对群体智能中各类智能计算模式进行总结提炼,提出了群体智能计算的一种内在统一的总体框架模型,并以遗传算法为例加以具体论述与验证,给出了基于群体智能框架理念的遗传算法总体模式描述.

关键词: 群体智能;框架描述;总体模式;遗传算法

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2007)05-0042-06

General mode description genetic algorithms based on a framework of swarm intelligence

KANG Qi, WANG Lei, LIU Xiao-li, WU Qi-di

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Different computational modes of agents take on relatively uniform characteristics in different kinds of swarm intelligence algorithms, though they usually have different extrinsic forms. To verify this idea and make further systematic study of swarm intelligence from a more macroscopic angle, various kinds of intelligent computational modes in the field of swarm intelligence were identified and are summarized in this paper. Based on this work, a uniform framework describing swarm intelligence is proposed, discussed, and then shown to be valid using a genetic algorithm. Finally, a general description of genetic algorithms is presented based on the idea of a framework of swarm intelligence.

Key words: swarm intelligence; framework description; general mode; genetic algorithm

在人工智能研究领域,随着对各类智能计算模式研究的深入进行,群体智能这个主题理念及相关研究领域开始引起了人们的注意^[1]. 群体智能是一种在自然界生物群体所表现出的智能现象启发下提出的人工智能模式,是对简单生物群体的智能涌现现象的具体模式研究^[2-3]. 该种智能模式需要以相当数目的智能个体来实现对某类问题的求解功能. 群体智能自提出以来,由于其在解决复杂的组合优化类问题方面所具有的优越性能,在诸如优化问题求解、机器人领域、电力系统领域、网络及通讯领域、计算机领域、半导体制造领域和工程设计领域等取得了较为成功的应用^[4-5]. 遗传算法是由美国Michigan大学的John Holland教授首先提出的一

种模拟自然界遗传机制和生物进化的并行随机优化方法,也可以看作群体智能的一种典型实现模式. 本文首先提出一种群体智能内在的统一框架模型,然后在此基础上,针对遗传算法给出其群体智能框架模式,并给出遗传算法的形式化模型.

1 群体智能的统一框架理念

一般而言,群体智能以自然界中生物系统行为作为参照基础,研究其中所蕴含的丰富的信息处理机制,在所需求解问题特征的相关目标引导下,提取相应的计算模型,设计相应的智能算法,通过相关的信息感知积累、知识方法提升、任务调度实施、定点信息交换等模块的协同工作,得到智能化的信息处理效果,并在各相关领域加以应用.

在群体智能中,信息处理模式均是模拟自然界相关生物组织和生物系统智能特征的. 这是进化计

收稿日期:2006-12-05.

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2002CB312202);国家自然科学基金资助项目(70531020,50408034);国家发改委CNGI计划资助项目(CNGF04-15-5A-2).

算最本质的特征.例如遗传算法主要模拟了自然界中生物体普遍存在的遗传进化过程;人工神经网络主要模拟了人脑的生理结构和信息处理模式,是对人脑的简化和抽象;蚁群算法和微粒群算法则模拟了自然界中群居性生物在种群中的信息处理模式和表现出来的群体智能行为模式.一般认为,可以在群体智能理念的基础上,建立一个群体智能内在的统一框架来描述其中的各计算模型.通过对统一框架的研究,有利于理解群体智能各种智能模型的内在

本质,也有利于各种算法之间进行合理融合,发展出各种混合算法,提高相关算法的性能.

群体智能的各种算法及模型,在具体的计算动态过程中,均具有一定的分布式自主寻优特征,但是这一切都是在客观统一的总体模式框架约束下进行的.群体智能统一框架可看作是一个分层的模式,统一框架针对具体的问题可以分成 4 个层次,分别为宏观设计及方法提升层、任务分解协调层、计算调度及信息感知层、被控实体运动过程层,如图 1 所示.

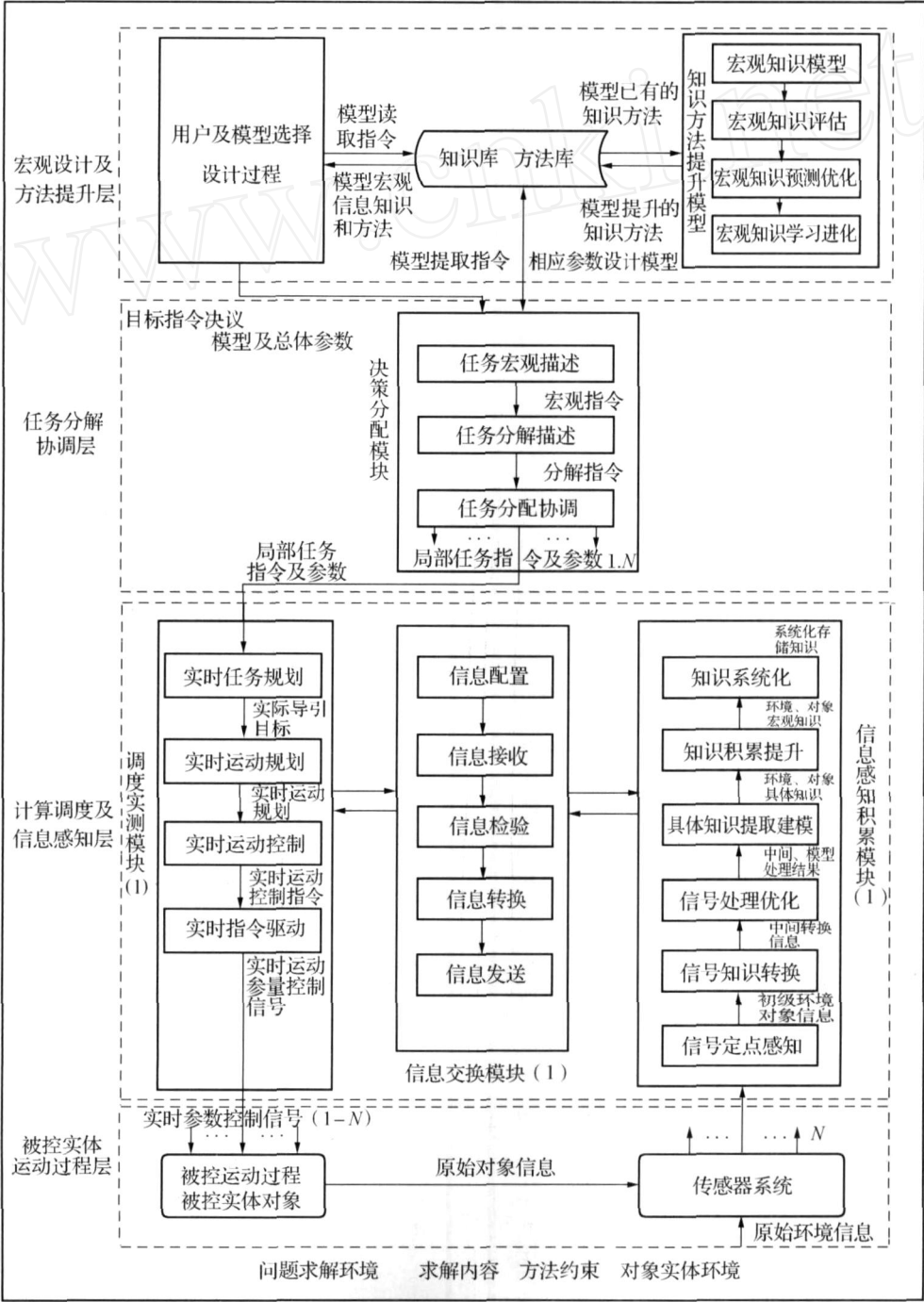


图 1 群体智能总体框架模型
Fig. 1 General framework mode of swarm intelligence

在宏观设计及方法提升层中,包括用户过程设计模块、知识方法提升模块及相关知识库和方法库。知识方法提升模块经常性地从知识库和方法库中提取智能算法模型库中已有的知识和方法,通过知识方法提升模块进行提升,上升为体系结构,并把经过提升的知识方法存放到知识方法库中,以备宏观设计和决策分配模块调用。用户过程设计模块则针对实际所需解决的问题,向知识方法库发出模型提取指令,并在现有的群体智能的知识方法库中提取所选用的智能计算宏观模型信息和相关知识。经过用户过程设计模块之后,就给定了相应的具体模型框架及总体参数。

在任务分解协调层中,主要进行的是决策分配操作。决策分配模块依据上层给出的模型框架和总体参数的信息,通过宏观任务描述、任务分解描述及任务分配协调过程,总体的目标指令和决策参量就被分解为相应的局部任务指令,传输给下层的调度实施模块。这一部分的任务是将宏观的参数分解成局部的任务和指令。

在计算调度及信息感知层中,包括调度实施模块、信息交换模块和信息积累感知模块。依据上层传递下来的局部任务指令,由各智能体的调度实施模块来加以分布式实现。每个智能体可以是一个逻辑概念,也可以是一个实体概念,这根据所需解决的具体问题来决定,其所需的实时运动参量控制信号由各局部任务指令经实时任务规划、运动规划、指令驱动程序、运动控制而产生。调度模块所需的实时信息,由信息感知积累模块通过对原始对象信息和原始环境信息等传感器所输出的初始采集信息进行定点感知、辨识转换,并经信号优化处理、具体知识提取建模、知识积累提升、知识系统化而产生。而产生的实时信息则通过信息交换模块,经过信息配置、信息接收、信息检验、信息转换、信息发送各部分传递给各智能体的调度实施模块。

被控对象实体运动过程层包括被控运动过程或被控实体对象以及相应的传感器系统。在被控运动过程中,被控实体对象接收由上层计算调度及信息感知层中调度实施模块提供的实时运动控制参量实现实体的运动。传感器系统则采集实体对象的初始

信息,并传送给上层信息感知积累模块。

总之,在上述的总体群体智能模型框架中,决策分配模块、知识方法提升模块以及各智能体的调度实施、信息交换、信息感知等模块之间具有一定的独立性。在设计和任务分配工作完成之后,智能体群的运动基本上可以在一定的计算环境下分布式地独立进行,这同时体现了群体智能理念中所包含的分布式人工智能的本质特征。当然,这里也可以看出,群体智能并不能等同于完全的自主式物理系统或生物群体,而是在对相关模型深入研究和所求解问题、所使用方法进行详细考察设计后,基于所定义的模型框架使相关智能体所表现出的一种相对统一的智能计算模式。

2 遗传算法的基本描述

遗传算法(genetic algorithm, GA)是20世纪70年代由美国的Holland提出的模拟生物进化过程的优化方法,它的主要思想是基于C. R. Darwin的生物进化论和G. Mendel的遗传学^[6]。遗传算法结合了Darwin的适者生存和随机交换理论。适者生存理论消除了解中的不适应因素,而随机交换理论利用了原有解中的已有知识,从而加速了对优化解的搜索过程。遗传算法不需要对象的特定知识,也不需要对象空间连续可微,具有全局寻优的能力。目前,遗传算法的应用涉及了许多互相联系的广阔领域,如规划、仿真与辨识、控制与分类等。

遗传算法是将问题的求解表示成“染色体”,从而构成一群“染色体”。将它们置于问题的“环境”中,根据适者生存的原则,从中选择出适应环境的“染色体”进行复制,即选择,通过交叉、变异操作产生出更适应环境的新一代“染色体”群,这样一代一代地不断进化,最后收敛到一个最适合环境的个体上,即求得问题的最优解。

遗传算法的运动过程为一个典型的迭代过程,其基本步骤简述如下:

- 1) 选择编码策略,把参数集合 x 和域转换为位串结构空间 S ;
- 2) 定义适应值函数 $f(X)$;
- 3) 确定遗传策略,包括选择群体规模 n ,选择、

交叉、变异方法,以及确定交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 等遗传参数;

- 4) 随机初始化生成群体 P ;
- 5) 计算群体中每个个体位串解码后的适应值 $f(X)$;
- 6) 按照遗传策略,运用选择、交叉和变异算子作用于群体,形成新一代群体;
- 7) 判断群体性能是否满足某一指标,或已完成设定的迭代次数,不满足则返回步骤 6),或者修改遗传策略再返回步骤 6);否则算法结束.

遗传算法的基本流程如图 2 所示.

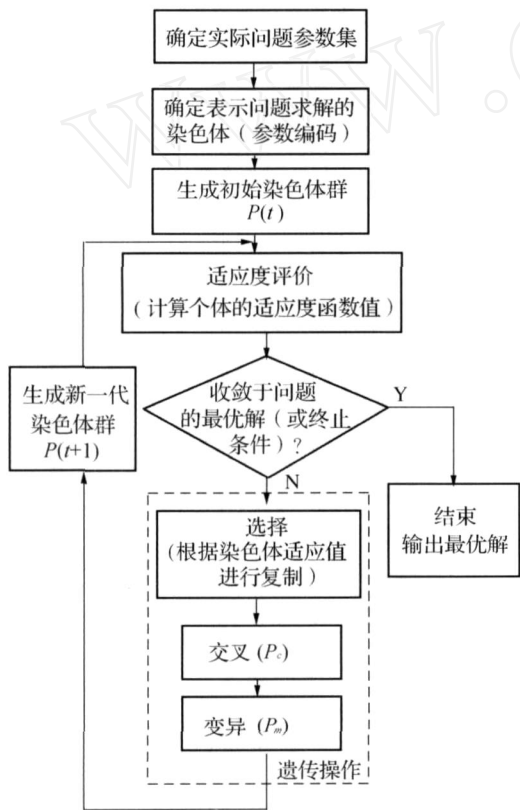


图 2 遗传算法的流程图

Fig. 2 Flowchart of genetic algorithm

在采用遗传算法求解实际的组合优化问题时,首先需要对问题进行参数编码(确定表示问题求解的染色体),然后确定适应度函数,并进行遗传操作(复制、交叉和变异等).经过多次迭代进化,最终得到问题的最优解或近似最优解.

3 遗传算法的群体智能框架模式

遗传算法虽然不像蚁群算法和微粒群算法那样

通过群体之间直接的协作来完成优化问题的求解,但其基本原理仍然是通过交叉等算子来实现间接的协同进化,同样具有群体智能的典型特点,属于群体智能算法的范畴,因此,可以按照群体智能的理念框架来加以理解,构建遗传算法的群体智能框架模式.

在群体智能计算的总体框架理念下,构建的遗传算法的群体智能框架模型如图 3 所示.

为了便于描述,把框架模型总体简化为任务分解协调与模型方法提升层和计算调度及信息感知层 2 个层次.该简化模式总体上与群体智能计算总体框架中的宏观设计及方法提升、任务分配协调、计算调度及信息感知和被控实体运动过程的 4 层结构是一致的.

GA 计算框架中的上层是任务分解协调及模型方法提升层,包括问题求解 GA 设计模块、知识方法提升模块以及知识库方法库等;下层为计算调度及信息感知层,主要包括染色体进化模式设定模块组、与求解问题相对应的合理的约束交配模式和相关信息定时感知和通讯等 3 个主要模块.

与群体智能计算的总体框架一致,在 GA 计算框架中,决策分配模块具体可称为问题求解 GA 设计模块,而知识库和方法库存储的是 GA 这类模型的相关知识方法,相应知识方法提升模块也提升 GA 相关的知识方法,调度实施模块具体可称为染色体进化模式设定模块,信息交换模块和信息感知积累模块作为一个相互联系的整体结构,被简化为求解问题相对应的合理的约束交配模式和相关信息定时感知及通讯模块,其中的约束交配模式等效为一个信息互联传递及反馈网络,被控实体——染色体种群正是在这样的问题求解环境中遗传进化的.

问题求解 GA 设计模块针对具体问题设计 GA 时,在知识方法库中提取 GA 的求解方法和已知的约束模式,最后得到 GA 的具体参数设定和局部运动模式.这些信息传递给染色体进化模式设定模块.这个模块不是唯一的,数目应该和染色体种群的规模保持一致.每个模块只控制一个染色体或一个子群,通过所有这些模块的进化,GA 进行问题的寻优过程.染色体进化模式设定模块之间需要进行信息的交叉(染色体以一定的概率进行交配),这需要通

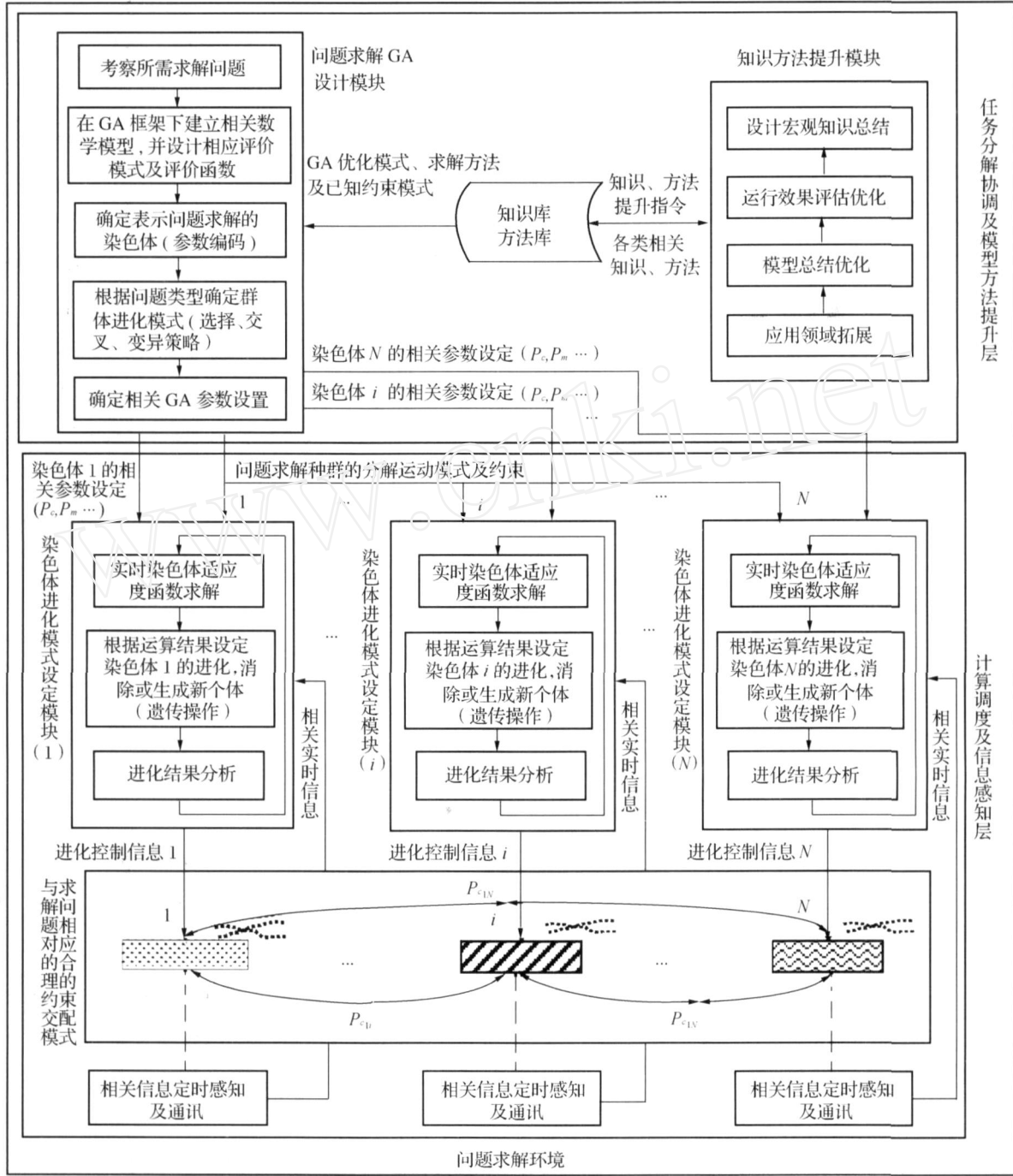


图 3 遗传算法的群体智能框架模型

Fig. 3 Swarm intelligent framework model of genetic algorithm

过求解问题相对应的合理的约束交配模式来完成。

具体来讲,任务分解协调及模型方法提升层中的问题求解设计模块中所做的工作是,先考察所需求解的优化问题,然后在 GA 框架下建立相应的数学模型,并设计相应的评价模式及评价函数.然后在此基础上确定表示问题求解的染色体,即参数编码过程;待确定编码方式之后根据问题类型确定染色

体种群的进化模式(包括选择、交叉、变异策略等),并确定 GA 相关的各参数设置,如交叉概率、变异概率 P_m 等。

在问题求解 GA 的分解运动模式和相关参数设定好之后,可进入下层的计算调度及信息感知层.在此层中,主要执行的是染色体的遗传进化操作,即首先进行实时染色体适应度函数求解,然后根据计算

结果分别对染色体进行遗传进化操作(选择、交叉、变异),生成新的染色体,并进行进化结果分析,给出遗传进化控制信息,实时设定各染色体在解空间中的进化增量。当然,染色体的联系主要通过交叉算子(以一定的概率 P_c 进行)来实现,相应的进化信息需要通过相关的感知与通讯模块对染色体进行定时感知和通讯及时获取并处理。

4 结束语

通过具体的研究工作,对群体智能理念有了一定的理解,总结并提出了群体智能计算的统一的框架模型,并以遗传算法为例加以具体论述,给出了基于群体智能框架理念的遗传算法总体模式描述,以此来说明所建群体智能总体框架的有效性。将具有此类特征的智能算法用一种统一的框架来进行描述,对于智能计算的系统化研究具有重要的意义。

参考文献:

- [1] KENNEDY J, EBERHART R C. Swarm intelligence [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.
- [2] 张燕,康琦,汪镭,等. 群体智能[J]. 冶金自动化, 2005, 29(2): 1 - 4.
- ZHANG Yan, KANG Qi, WANG Lei, et al. Swarm intelligence[J]. Metallurgical Industry Automation, 2005, 29(2): 1 - 4.
- [3] 彭宇. 群智能优化算法及理论研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004.
- PENG Yu. Swarm intelligence optimization algorithm and theory study [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2004.
- [4] 康琦,张燕,汪镭,等. 群体智能应用综述[J]. 冶金自动化, 2005, 29(5): 7 - 10.
- KANG Qi, ZHANG Yan, WANG Lei, et al. Application overview on swarm intelligence[J]. Metallurgical Industry Automation, 2005, 29(5): 7 - 10.
- [5] 吴启迪,汪镭. 群体智能计算模式及应用[M]. 南京: 江苏教育出版社, 2006.
- [6] 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

作者简介:



康琦,男,1980年生,博士研究生,IEEE会员.主要研究方向为计算智能、群体智能和自然计算等,发表论文20余篇.

E-mail: kangqi_tj@163.com.



汪镭,男,1970年生,教授、博士生导师. IEEE上海分会委员,中国人工智能学会理事. 主要研究方向为智能自动化理论与应用,发表论文60余篇,其中已被SCI、EI检索30余篇. 出版学术专著4部.



吴启迪,女,1947年生,教授、博士生导师,教育部副部长. 主要研究方向为控制理论与应用、计算机集成制造系统及智能自动化理论与应用. 已出版多部学术专著和译著,发表论文200余篇,荣获国家级、教育部、上海市等科技进步奖多项.