

多元智能算法控制结构综述

胡 扬 桂卫华 蔡自兴

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

摘 要 为了更好地模拟人类智力的特点,针对智能控制的结构理论与特点提出了智能算法的多元控制结构。将已有的遗传算法、人工神经网络算法、免疫算法、代谢算法集成为一个统一的整体智能学习、推理、发育体系。通过对各智能算法功能之间的相互配合来弥补传统单一算法的不足。通过阐述算法的切换与集成的思想说明,集成后的多元控制算法能更好地模拟人类的相关功能。并且通过机器的编程又可以较大幅度地弥补生物体功能上的不足。

关键词 人工智能,智能控制,多元结构,算法切换,算法集成

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Summary for Control Structure of Multi-dimensional Intelligent Control Algorithm

HU Yang GUI Wei-hua CAI Zi-xing

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract To simulate the characteristics of mankind intelligence, a multi-dimensional control architecture of intelligent algorithm was proposed. Integrating some algorithms with genetic algorithm, artificial neural network algorithm, immune algorithm and metabolic algorithm, the completed intelligent studying, reasoning and developing system was formed according to the structure theory and features of intelligent control. The function of traditional single algorithm can be perfectly improved by coordinating intelligent algorithms. Some mankind functions can be realized better by the integrated multi-dimensional intelligent control algorithm under the switching and integrating by a certain of algorithms. The control performance can be improved by computer programs controlled by the integrated artificial intelligence.

Keywords Artificial intelligence, Intelligent control, Multi-dimensional structure, Algorithm switching, Algorithm integrating

1 引言

自从人工智能学科体系诞生以来,涌现出了很多智能控制算法^[1]。通过模拟生物体代际遗传优化的原理产生了遗传算法^[2,3],通过对人脑神经元细胞学习、推理结构进行研究产生了人工神经网络算法^[4],通过研究生物体免疫机制产生了免疫算法^[5,6],通过对生物体新陈代谢过程和生物酶催化机理的研究产生了人工代谢算法^[7]。还有针对动物群体习性的研究产生了蚁群算法、粒子群算法,以及对金属受热后的规律研究产生了模拟退火算法。这些智能推理算法的共同点是通过对自然界奥秘的研究,来弥补传统数值计算算法上的不足^[8-12]。迄今为止已取得了很多的理论成果和实践成效。

需要指出的是上述智能算法及相互之间的集成关系的研究并不意味着再造出一个完全的“智能人”。生物意义上的人的功能是计算机芯片和算法所无法企及的。研究智能算法的目的在于通过机器(主要是电子计算机)的辅助,能使人避免犯下因为人体的生活节律、思维习惯和在无意识状态下产生的操作和决策不当而对生产所造成的影响。

本文通过对若干智能算法的集成,在一定程度上弥补了单一算法的缺陷,使得集成后的算法与生物体(特别是人类)的功能和发展规律更为相似,在一定意义上减轻了作为实际生产决策——人的劳动强度和负担,提高了决策的效率,减少了不必要的失误。

2 多元智能算法结构体系

2.1 多元智能算法控制结构

多元智能算法集成的问题,很早以前就由学者作过研究。有学者将遗传算法和免疫算法相集成,提出了“基于遗传算法的免疫进化”的思想体系^[13]。有学者将遗传算法与人工神经网络算法结合,分别提出了“基于人工神经网络的遗传算子自学习”和“基于权值进化的人工神经网络”的思想体系^[14,15]。还有学者将人工神经网络算法和免疫算法相结合,提出了“基于神经学习的免疫算子选择”和“基于免疫算法的人工神经网络权值优化”思想^[16]。也有学者对遗传算法、人工神经网络算法和免疫算法三者的集成进行了研究^[17-19]。本文通过对遗传算法、免疫算法、人工神经网络算法和代谢

到稿日期:2008-11-05 返修日期:2009-01-21 本文受国家杰出青年科学基金项目(60425310)资助。

胡 扬(1978—),男,讲师,主要研究方向为人工智能、离散事件动态系统等,E-mail:foxgoat@yahoo.com.cn;桂卫华(1950—),男,博士生导师,主要研究方向为工业过程集成建模与优化控制等;蔡自兴(1938—),男,博士生导师,主要研究方向为人工智能与机器人控制等。

算法4种算法的集成,提出了智能算法的多元结构。相关多元结构图如图1所示。

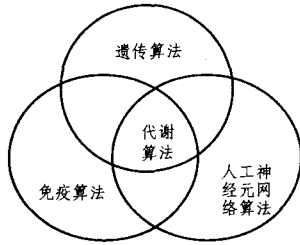


图1 智能算法多元控制结构图

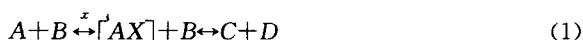
在图1中,智能推理算法由遗传算法、人工神经网络算法、免疫算法和代谢算法组成。这4种算法的组合可以较真实地模拟生物体的主要生理机能。其主要的思想是对外界环境学习、自适应功能由人工神经网络算法完成,算法参数的调节、升级功能由遗传算法完成,算法对环境适应性的评价由免疫算法完成。而上述3种算法的调节进程则通过代谢算法完成。代谢算法通过调节代谢方程的平衡,动态地调节3种算法的参数的大小,以实现功能协调的目的。由于遗传算法、人工神经网络算法和免疫算法在相关文献中已有较多论述,本文不再重复其基础内容。下面着重阐述代谢算法的主要思想。

2.2 代谢算法基本原理

代谢算法也称人工代谢算法,是在模拟生物化学反应中催化酶的作用提出的^[20]。在这类反应中,反应速度由反应物浓度(生物化学中称为底物浓度)、生成物浓度和催化酶浓度共同决定。基本的优化思想是:将目标函数的优化过程看成一个代谢反应过程。当目标函数未达到其最优值时,代谢方程未达到平衡状态,这时化学平衡的移动方向由底物浓度和生成物浓度以及催化酶浓度共同决定。在催化酶浓度小于一定阈值时,认为催化酶浓度对平衡移动的作用可以忽略。当催化酶浓度大于一定阈值,且底物浓度大于生成物浓度时,代谢反应向合成生成物的方向进行;当底物浓度小于生成物浓度时,代谢反应向合成底物的方向进行。当代谢反应平衡时,底物浓度和生成物浓度均保持稳态平衡,此时的生成物浓度达到最大,认为目标函数已达到其最优值,对生成物浓度进行相应处理即得到函数的最优值。

对于代谢反应,其核心在于催化酶的浓度。催化酶分为促进酶和抑制酶两种类型,分别对应代谢算法的平衡因子和抑制因子。前者促使代谢反应向合成生成物方向移动;后者促使代谢反应向合成底物方向移动。代谢反应的编码过程如下:

在代谢规律中,酶先和底物结合,生成中间复合物,再生成最终生成物。具体结合方式是



其中,A,B是底物,C,D是生成物,x是催化酶,AX是中间复合物。

代谢系统的编码规则如下:

底物A,B和生成物C,D的浓度区间在[0,1]之间,底物A,B和生成物C,D的量各占整个反应平衡方程中全部物理量的比例可计算得出,即为其浓度。将其浓度用二进制编码表示。假设采用n位二进制代码的编码方式,即将实际浓度

映射成 $[0,2^n-1]$ 上的由0,1组成的编码串。酶x的浓度也用n位二进制代码的编码方式表达,即为 $[0,2^n-1]$ 上的由0,1组成的编码串。酶的浓度的初始值为随机给出。根据酶与底物的匹配情况,通过代谢因子对酶的编码进行逻辑关系的调节,使酶与当前底物更好地匹配。匹配的原则是A的编码和x的编码进行逻辑与的结果对应的二进制数应尽可能逼近1。其中平衡因子 k_e 的作用是随机选择酶x中的二进制数位,将对应的0转换为1;抑制因子 k_i 的作用是随机选择酶中的二进制数位,将对应的1转换为0。平衡因子 k_e 和抑制因子 k_i 的值在[0,1]之间,统称为代谢算子。在得到平衡因子 k_e 和抑制因子 k_i 的值后,按其值对应的百分数,决定所随机选择酶中的二进制数位的位数。平衡因子 k_e 在一个计算周期中的值为当前全部底物的浓度;抑制因子 k_i 在一个计算周期中的值为全部生成物的浓度。当代谢速率达到稳态,即 $d(A(t))/dt < \epsilon, d(B(t))/dt < \epsilon$ 时(ϵ 为某一接近于0的极小数),代谢终止。

代谢算法在多元智能算法中的意义是,随着反应的进行,通过计算代谢平衡方程的平衡因子和抑制因子,判断瞬时反应的主要方向。通过计算反应速率(代谢率)的变化,判断代谢的进展和抑制的类型。通过对代谢算子进行随机调整来调节遗传转录过程的速率、神经元自学习权值的速率和免疫算子更新的速率。即通过新陈代谢来对算法的参数进行实时更新操作,实现真正意义上人工智能的交互性。

3 多元智能算法的调节模式

多元智能算法通过不同算法的分工协作,共同完成优化的任务,避免陷入局部极值。其优化的整体流程图如图2所示。

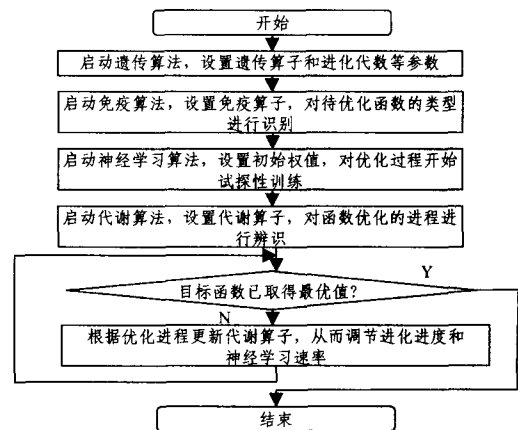


图2 多元智能算法主体流程图

如图2所示,多元智能算法的核心是代谢过程,通过代谢反应对算法的参数进行实时更新。由于催化酶本身也是一种蛋白质,具有自身的DNA结构,故催化酶的进化过程由遗传算法负责,两者互为反馈。遗传算法调节代谢算子的进化,而代谢算子又影响遗传过程的交互式调节。目标函数的优化方式由免疫算法负责。通过对抗体的多样性选择来决定对抗原(待优化函数)的识别。识别的目的是为了选择合适的神经学习权值和催化酶浓度的初始值。神经学习是对酶催化过程的训练,通过不同的优化模式,衍生出不同的训练权值。在这一

(下转第45页)

- [5] Wang Junfeng, Zhou Mingtian, Li Lei. Topological dynamics characterization for LEO satellite networks. Elsevier Science [J]. Computer Networks, 2007, 51(1): 43-53
- [6] Wang Junfeng, Hu Yuemei, Zhou Hongxia, et al. Topological

- Dynamics Characterization for Layered Satellite Networks[C] //Proceedings of IEEE IPCCC 06. Phoenix, Arizona, USA, 2006
- [7] 张民, 罗光春, 王俊峰, 等. 空间信息网络可靠传输协议研究[J]. 通信学报, 2008, 29(6): 63-68

(上接第 26 页)

步中, 神经学习与代谢控制也是互为反馈的过程。人工神经网络控制代谢因子(平衡因子和抑制因子)的训练过程, 而代谢又影响神经学习的进度和权值的更新速率。需要说明的是, 为了与真实的生理现象更好地吻合, 这些互为反馈进程的智能算法并不一定代表同一个对象。举例而言, 控制代谢过程 A 的训练可能由神经网络 B 完成, 而该代谢过程 A 所影响的神经学习的参数又可能是神经网络 C 的参数, 而不一定是神经网络 B 的参数。

4 多元智能算法的切换和集成

智能算法的多元化意味着算法复杂度的上升, 同时也意味着编程难度和软件潜在故障率的上升。因此在通常情况下, 不是所有的算法都需要用到的。算法设计者完全可以根据优化目标的需要和自身成本的评估来选择单一算法和若干算法的组合^[21]。在很多情况下不会将本文所罗列的算法全部用到。这其中可以通过“算法开关”对控制对象进行变算法选择和集成, 通过算法的切换达到降低系统复杂度的目的^[22]。这种思想也就是“软件模块化”思想的最好体现。其切换示意图如图 3 所示。

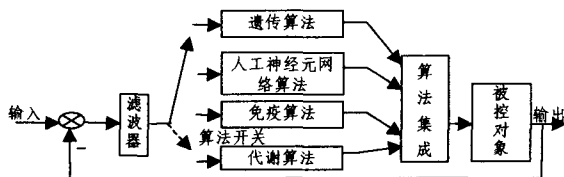


图 3 算法切换与集成示意图

滤波器根据需要对信号进行相关处理。通过性能指标的要求和各算法自身的特性选择合适的算法。选择过程由“算法开关”的程序实现。再对选择好的算法进行集成处理, 确立参数之间的相互关系, 对被控对象进行优化控制。

结束语 多元算法集成的思想很早就有相关的研究成果。随着人工智能科学的深入发展, 对智能控制的研究已演变成器官层次、细胞层次与分子层次递阶控制的模式。而随着对反应的催化机理的研究深入, 传统的智能算法已不再单纯是由人工设定参数的模式, 而逐渐变成由智能机制来进行自适应寻优的轨道。这意味着提高了人工智能与外界环境的交互性和自主性, 使得人工智能向智能化的方向又迈进了一步。但需要指出的是, 这种算法设计模式增加了系统的复杂性, 使系统故障概率提高, 同时提高了控制系统的设计成本。是否采用多元智能算法及如何采用多元智能算法, 需要根据系统性能要求和设计精度进行相关的评估。

拟人化控制是智能控制的发展趋势。如何实现控制指标和运行成本之间的协调, 将是智能控制需着重研究的课题。

参考文献

- [1] 蔡自兴, 徐光佑. 人工智能及其应用(第 2 版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996
- [2] 陈国良, 王煦法, 庄镇泉, 等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996
- [3] 王凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
- [4] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [5] 肖人彬, 王磊. 人工免疫系统: 原理、模型、分析与展望[J]. 计算机学报, 2002, 25(2): 1281-1293
- [6] 焦李成, 杜海峰, 刘芳, 等. 免疫优化计算、学习与识别[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [7] 张蓓. 代谢工程[M]. 天津: 天津大学出版社, 2003
- [8] 张纪会, 高齐圣, 徐心和. 自适应蚁群算法[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(1): 1-4
- [9] 孙新宇, 万筱宁, 孙林岩. 蚁群算法在混流装配线调度问题中的应用[J]. 信息与控制, 2002, 31(6): 486-490
- [10] 孟伟, 韩学东, 洪炳镕. 蜜蜂进化型遗传算法[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1294-1300
- [11] 阎志华, 丁秋林. 基于蜂群算法的车间作业调度研究[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(10): 1150-1152
- [12] 阎志华, 丁秋林. 用蜂群算法实现动态作业车间调度[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004, 2: 47-50
- [13] 王煦法, 张显俊, 曹先斌, 等. 一种基于免疫原理的遗传算法[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(2): 117-120
- [14] Perrone G, Diega La N S. Fuzzy methods for analyzing fuzzy production environment[J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 1998, 14: 465-474
- [15] Zeigler B P, Moon Y, Lopes V L, et al. DEVS Approximation of Infiltration Using Genetic Algorithm Optimization of a Fuzzy System[J]. MathL. Comput. Modelling, 1996, 23(11/12): 215-228
- [16] 胡汉平, 吴晓刚, 李德华, 等. 基于遗传算法的模糊控制系统[J]. 电子学报, 2000, 28(7): 123-125
- [17] 丁永生, 任立红. 一种新颖的模糊自调整免疫反馈控制系统[J]. 控制与决策, 2000, 15(4): 443-446
- [18] 徐宁, 李春光, 张健, 等. 几种现代优化算法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(12): 100-103
- [19] 杨建国, 丁慧敏, 李蓓智. 解决多目标 Flow-shop 问题的生物免疫调度算法[J]. 机械设计与研究, 2002, 18(4): 28-30
- [20] Marangoni A G. 酶催化动力学-方法与应用[M]. 赵裕蓉, 张鹏, 译. 北京: 化学工业出版社, 2007
- [21] 张晓东, 严洪森. 一类 Job-shop 车间生产计划和调度的集成优化[J]. 控制与决策, 2003, 18(5): 581-584
- [22] 许华虎, 毛哲文, 林财兴, 等. CIMS 环境下网络综合管理的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2003, 24(10): 1735-173