

遗传算法的研究进展综述

吴玫, 陆金桂

(南京工业大学自动化学院, 南京 210009)

摘要: 遗传算法是基于自然界生物进化基本法则而发展起来的一类新算法, 应用广泛, 但其自身存在早熟收敛等不足, 因此, 如何改善遗传算法的搜索能力和提高算法的收敛速度是需要探索的课题之一。本文通过对遗传算法的描述, 就编码问题、遗传操作及执行策略等方面对遗传算法的改进措施进行了概述, 并对遗传算法的研究方向进行了展望。

关键词: 遗传算法; 编码; 遗传操作; 执行策略

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881 (2008) 3-176-4

Summary of Research Progress of the Genetic Algorithms

WU Mei LU Jingu

(College of Automation, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: Genetic algorithms is a new algorithms based on the basic theorem of the biology evolution. Although widely used, there are still some shortages such as premature effective. So how to improve its searching performance and avoid the common defect of early convergence need to be explored. The principle of GA was described. 4 kinds of relevant improved methods and new developmental trends concerning GA were presented.

Keywords: Genetic algorithms; Encoding; Genetic operation; Act strategies

0 引言

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是生命科学与工程科学互相交叉、互相渗透的产物, 其遵循的原则就是 Darwin 的进化论和 Mendel 的遗传学说, 是由 Michigan 大学 Holland 教授于 1975 年首次提出。其本质是一种求解问题的高度并行性全局搜索算法。它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识, 并自适应地控制搜索过程以求得最优解。经过近 30 余年的努力, 遗传算法不论是在应用上、算法设计上, 还是在基础理论上, 均取得了长足的发展, 已成为信息科学、计算机科学、运筹学和应用数学等诸多学科所共同关注的热点研究领域。

尽管遗传算法在理论研究和实践中已经取得了巨大的成功, 但遗传算法存在收敛速度慢和易于陷入局部最优的问题, 在需要优化的参数较多时, 更表现出遗传算法的不足。本文将从遗传算法的理论和技术的两方面概述目前的研究现状, 描述遗传算法的基本原理与主要特点, 对遗传算法的编码问题、基因操作以及执行策略方面的改进进行了研究。

1 遗传算法描述

遗传算法是从代表问题可能潜在解集的一个种群开始的, 一个种群由经过基因编码的一定数目的个体组成, 初始种群产生之后, 按照适者生存和优胜劣汰的原理, 逐步演化产生出越来越好的近似解。在每一代, 根据问题域中个体的适应度大小挑选个体, 并借

助自然遗传学的遗传算子进行交叉和变异, 产生出代表新的解集的种群。这个过程将导致种群向自然进化一样的后代种群比前代更加适应环境, 末代种群中的最优个体经过解码, 可以作为问题近似最优解。遗传算法所涉及的五大要素: 参数编码、初始群体的设定、适应度函数的设计、遗传操作的设计和参数参数的设定, 其具体内容如下:

(1) 参数编码。遗传算法中常用的编码方法是二进制编码, 它将问题空间的参数用字符集 $\{0, 1\}$ 构成染色体位串, 符合最小字符集原则, 操作简单, 便于用模式定理分析。

(2) 适应度函数的设计。适应度函数是评价个体适应环境的能力, 使选择操作的依据, 是由目标函数变换而成。对适应度函数唯一的要求是其结果为非负值。适应度的尺度变换是对目标函数值域的某种映射变换, 可克服未成熟收敛和随机漫游现象。常用的适应度函数尺度变化方法主要有线性变换、幂函数变换和指数变换。

(3) 遗传操作的设计。包括选择、交叉、变异。

① 选择 (Selection)

选择是用来确定交叉个体, 以及被选个体将产生多少个子代个体。其主要思想是个体的复制概率正比于其适应值, 但按比例选择不一定能达到好的效果。选择操作从早期的轮盘赌选择发展到现在最佳个体保存法、排序选择法、联赛选择法、随机遍历抽样法、

局部选择法、柔性分段复制、稳态复制、最优串复制、最优串保留等。

② 交叉 (Crossover)

交叉是指把两个父代个体的部分结构加以替换重组而生成新个体的操作, 其作用是组合出新的个体, 在串空间进行有效搜索, 同时降低对有效模式的破坏概率。各种交叉算子均包含两个基本内容: 确定交叉点的位置和进行部分基因的交换。常用的交叉操作方法有单点交叉、双点交叉、一致交叉、均匀交叉、算术交叉、二维交叉、树结构交叉、部分匹配交叉、顺序交叉和周期交叉等等。

③ 变异 (Mutation)

变异是指将个体编码串中的某些基因值用其它基因值来替换, 形成一个新的个体。遗传算法中的变异运算是产生新个体的辅助方法, 其目的是使遗传算法具有局部的随机搜索能力和保持群体的多样性。变异算法包括确定变异点的位置和进行基因值替换。常见的变异算子有基本位变异、均匀变异、高斯变异、二元变异、逆转变异、自适应变异等。

(4) 控制参数设定。遗传算法中需要确定一些参数取值, 主要有串长 L 、群体大小 n 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 等, 对遗传算法性能影响很大。目前对参数根据情况进行调整变化研究比较多, 而一般确定的参数范围是: $n=20 \sim 200$ $P_c=0.5 \sim 1.0$ $P_m=0 \sim 0.05$ 。

2 遗传算法的研究进展

自从 1975 年 J H Holland 系统地提出遗传算法的完整结构和理论以来, 如何提高遗传算法跳出局部最优的能力和如何提高遗传算法的收敛速度成为近年来遗传算法的研究热点。众多学者一直致力于推动遗传算法的发展, 就传统遗传算法的关键技术如编码方式、控制参数的确定、选择方式和交叉机理等进行了深入的探究, 引入了动态策略和自适应策略以改善遗传算法的性能, 提出了各种变形的遗传算法 (Variants of Canonical Genetic Algorithms 简称 VCGA)。以下就改进措施作了相应的概述。

2.1 编码问题

遗传算法中基本的二进制码存在映射误差, 对连续函数的优化问题具有局部搜索能力差的缺点。而常用的一些比较成熟的编码方式如格雷码编码、实数编码、排列编码、二倍体编码、DNA 编码等又各有优缺点。廖平针对实数编码在多维变量寻优过程中, 随变量维数增加使得收敛速度降低的问题提出基于归一化实数编码多维并行遗传算法, 在 $[0, 1]$ 区间内进行编码, 基因位为小数位, 从而大大提高算法性能。张晓文等提出基于树图编码的遗传算法优化神经网络, 此编码方式的染色体由若干个表示隐节点的基

因片段构成, 在进行结构遗传优化时, 基因片段长度始终不变, 规律性极强。针对高校排课问题, 蔡振锋提出矩阵编码, 一个矩阵 Y 表示一个可能的排课表, 同时引进辅助矩阵 X 表示教师编号, 合理安排了课程。李魁韬等提出将每个基因值用 N 进制的浮点数表示, 然后将其分为整数部分和小数部分, 分别重新编码组成染色体的新的基于 N 进制分部编码算子的遗传算法, 使其在早期具有很强的全局搜索能力, 避免陷入局部极值。

2.2 种群规模问题

种群规模问题事实上包括两方面的问题, 即初始群体的设定和进化过程中各代的群体规模如何维持。一般初始群体的设定有两种方法: (1) 根据问题固有知识, 设法把握最优解所占空间在整个问题空间中的分布范围, 设定初始群体。(2) 先随机生成一定数目的个体, 从中挑出最好个体加到初始群体中。这种过程不断迭代, 直到达到预定的规模。

针对初始群体的设定, 史明霞提出多种群协同演化遗传算法, 利用生态系统的种群之间竞争和合作模型来处理群体规模问题。敖友云等在多目标优化遗传算法中, 将整个种群按目标函数值划分成若干个子种群, 在各子种群内 μ 个父代经遗传操作产生 λ 个后代, 然后将各子种群的所有父代和后代个体组成下一代种群。黎耀等提出采用 Hash 函数进行初始种群优化, 提高了检测准确性。而针对如何维持种群规模, 张明威等引入了双种群演化的遗传算法, 周鹏提出了一种基于代沟信息的可变种群规模遗传算法。利用相邻几代群体间的极优解差异信息, 在遗传算法发生早熟现象时根据逻辑斯蒂模型来改变种群规模, 保持了种群的多样性。

2.3 遗传操作

2.3.1 交叉操作

交叉操作是遗传算法中重要的操作, 是决定算法收敛性能的关键。但在传统遗传算法中, 当种群进化到一定阶段时, 种群中会出现相当多相同或高度相近的个体, 导致交叉无效, 影响了算法收敛速度。因此, 为提高算法的收敛速度, 刘清等提出了一种采用多点正交交换的遗传算法, 通过正交表安排遗传算法的交换运算, 在所产生的多个子代中选择适应度大的进入下一代进化; 李平等提出一种称为群体中心交叉的多亲交叉算子遗传算法, 并将其应用到了数据聚类问题, 取得良好的实验结果。都伟等提出一种基于进化代数和个体适应值的交叉算子, 根据每代个体的适应度与进化代数的变化情况自适应调整交叉操作, 使杂交向有利于算法收敛的方向进行。

2.3.2 变异操作

变异操作在遗传算法中既可产生种群中没有的较

优基因,又可以恢复被遗漏的基因,在克服早熟收敛方面起着重要的作用,但传统的变异方式不能有效地维持同一基因座上等位基因的多样性。因此,针对一般变异操作容易使程序陷入局部最优点,达不到全局最优解的现象,吴秋玲等提出了一种新的能维持种群多样性,且具有自适应变异概率的变异算子,该算子染色体每一基因位上的变异概率由其基因位上的基因频率自适应决定。石季英等提出灾变式均匀布种遗传算法,对变异算子加以改进,保留个体中高权值的基因,只令低权值的基因变异,达到了加速收敛的目的。刘华勇通过引入自适应高斯变异算子,提出一种具有自适应搜索能力的快速收敛遗传算法,得到了基于点的曲线曲面的有限元光顺模型。

2.4 执行策略

遗传算法的结构是开放的,与问题无关,所以很容易从执行策略上进行改进,遗传算法执行策略的改进包括混合遗传算法、并行遗传算法、合作演化算法和混乱遗传算法。

2.4.1 混合遗传算法

基本遗传算法的局部搜索能力差,单用简单的遗传算法在许多情况下不是十分有效,因此一般对遗传算法进行适当的改进或将遗传算法与传统的、基于问题知识的启发式搜索技术相结合(即混合遗传算法)来解决,其基本思想是运用启发式方法作局部优化,采用遗传算法作全局最优点的探索。常见的混合遗传算法如下:

(1) 模拟退火遗传算法是通过模拟高温物体退火过程的方法来找到优化问题的全局最优或近似全局最优解。目前,已有许多学者将退火机制引入到遗传操作中,使遗传操作产生优良个体的概率增加,并使遗传算法的寻优能力有了明显的提高。

(2) 免疫遗传算法是通过注射疫苗的方法来减少遗传操作的盲目性,加强遗传算法收敛性能,多次测试结果证明了该改进方法的有效性。武晓今等利用免疫记忆库记忆优秀免疫遗传模式,提出在免疫遗传算法中引入模式控制的方法来解决复杂函数优化的问题。

(3) 小生境遗传算法是在对群体进行选择操作前,计算个体之间的海明距离,如小于事先设定值,则对适应值低的个体处以罚函数,降低其适应值。这样可以保护解的多样性,也可以避免大量重复的解充斥整个解空间,使遗传算法的全局寻优能力得到了明显提高。王晓兰等借鉴免疫系统中克隆原理,提出一种多模态函数优化的多小生境选择算法,并进行了实例计算。李秀芬等结合隔离小生境和自适应技术将种群规模同种群个体平均适应度值相联系来实现优胜劣汰、适者生存机制。

(4) 模糊遗传算法是融合模糊优化设计思想的

遗传算法,把模糊优化和遗传算法优化结合起来,引入“论域”概念(用隶属函数来表示遗传算法的优化过程中所采用的约束条件的区间范围),采用权变理论中的以变应变的思想。模糊遗传算法运用模糊控制的思想来自适应改变遗传算法的种群规模、交叉概率、变异概率、适应度函数以及控制策略等。

(5) 混沌遗传算法是利用混沌在一定范围内按其自身特性不重复地历经所有状态,具有遍历性,对初始条件的极度敏感性等性质来弥补遗传算法易陷入局部最优、收敛速度慢的缺陷。可以利用混沌的遍历性产生初始群体,也可以运用混沌的遍历性对优良个体进行变异操作。杨晓华等通过在实码遗传算法初始群体中引进 50%的混沌变量和 50%的均匀随机变量,采用混沌变易,提出了求解水质模型参数优选的一种新方法。

(6) 量子遗传算法是量子计算思想与遗传算法结合的产物。在表达式上,量子遗传算法将量子的志矢量表述引入染色体编码;在演化机制上,它利用量子门事先染色体演化。量子遗传算法表现出更好的种群多样性、更强的全局搜索能力和更快的收敛速度。黄蓓等将量子比特和量子旋转门引入遗传算法中,很好地解决复杂非线性函数的无约束优化问题。

此外,还有将蚁群算法、粒子群算法与遗传算法结合的混合遗传算法。刘国光提出了基于可拓学理论与遗传算法相结合的概念设计求解模型,完成产品概念设计。郑高飞等提出一种全新的多模态遗传算法——带子群的自组织蠕虫算法,利用自组织蠕虫算法进行后期寻优,极大地降低了计算的复杂度,提高了收敛速度。张勤等将换热网络结构信息转化为种群中染色体信息,利用种群的进化实现网络结构的优化,在进化过程中使用隔代强制策略,使种群向更优方向稳步进化。李订芳等在已有的遗传属性约简算法的基础上,通过引入约简的可行域概念,提出了基于可行域的遗传约简算法。王本年等将协同进化的思想运用到遗传算法,提出一种生态种群捕获竞争的协同进化模型,改善未成熟收敛。

2.4.2 并行遗传算法

遗传算法一般具有较大的群体规模,需要进行大量的计算和操作,使得算法进化运算过程进行缓慢。遗传算法具有天然并行性的结构,对遗传算法并行性实现的研究由来已久,并且很有前景。并行遗传算法的改进和发展主要有个体适应度评价的并行性、整个群体中各个个体的适应度评价的并行性、群体产生过程的并行性、基于群体分组的并行性。

2.4.3 合作演化算法

合作演化算法根据生物个体间不但有竞争,而且还具有合作行为,通过把复杂问题分解为数个子问

题, 通过代表这些子问题的个体间既合作又竞争的演化过程, 达到求解问题的目的。

2.4.4 混乱遗传算法

Goldberg提出的混乱遗传算法是为了解决经典遗传算法中位置较远的模式很容易破坏的问题。混乱遗传算法中的个体由每个分量的位置与取值共同表示, 位置可以不按次序排列, 也并不是所有分量都在个体的表示中出现, 丧失了只操作个体的经典遗传算法所具有的隐含并行性, 是今后有待探讨的课题。

3 总结

遗传算法作为一种模拟自然演化的学习过程的求解问题方法, 在很多领域具有广泛的应用价值, 但在很多方面有待于进一步研究、探讨和完善。本文就遗传算法原理和改进措施对遗传算法的研究进展进行了综述, 由于遗传算法发展迅速, 所以仍有很多改进措施没有包括在文中。总的来说, 遗传算法的改进途径有: 改变遗传算法的组成成分或使用技术; 采用混合遗传算法; 采用动态自适应技术; 采用非标准的遗传操作算子以及采用并行遗传算法。近年来, 遗传算法的改进引入许多新的数学工具, 吸收了生物学的最新成果, 可以预期, 随着计算机技术的进步和生物学研究的深入, 遗传算法在操作技术和方法上将更通用、更有效。

参考文献

- 【1】王小平, 曹立明, 等. 遗传算法——理论、应用与软件实现 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002
- 【2】李敏强, 等. 遗传算法的基本理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- 【3】J H Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [M]. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- 【4】吉根林. 遗传算法研究综述 [J]. 计算机应用与软件, 2004, 21 (2): 69—73.
- 【5】Joachim. *Parallel Genetic Algorithms: Theory and Applications* [M]. ISO Press, 1993.
- 【6】Z Michalewicz. A Modified Genetic Algorithm for Optimal Control Problems [J]. Computers Math Application, 1992, 23 (12): 83—94.
- 【7】刘立平, 等. 遗传算法综述 [J]. 东莞理工学院学报, 2005, 12 (3): 48—51.
- 【8】马玉明, 等. 遗传算法的理论研究综述 [J]. 山东轻工业学院学报, 2004, 18 (3): 77—80.
- 【9】余有明, 等. 遗传算法的编码理论与应用 [J]. 计算机工程与应用, 2006
- 【10】J Smith. Selfadaptation of mutation rates in a steady state genetic algorithm [C]. In: Proceedings of the third IEEE conference on Evolutionary Computation, Piscataway: IEEE Press, 1996, 318—323.
- 【11】廖平. 归一化实数编码的多维并行遗传算法 [J]. 计算机仿真, 2005, 22 (10): 122—124.
- 【12】张晓文, 等. 基于两次赌轮选择的神经网络遗传优化 [J]. 控制与决策, 2005, 20 (2): 210—213.
- 【13】蔡振锋. 遗传算法在高校排课中的应用 [J]. 湖北工业大学学报, 2006, 21 (1): 87—89.
- 【14】李魁韬, 等. 遗传算法的一种新颖编码研究 [J]. 信息与控制, 2006, 35 (5): 624—628.
- 【15】史明霞. 多种群协同演化遗传算法 [J]. 商丘师范学院学报, 2006, 22 (2): 72—74.
- 【16】敖友云, 等. 基于 $(\mu + \lambda)$ 选择策略的多目标优化分段遗传算法 [J]. 计算机工程与科学, 2006, 28 (9): 91—93.
- 【17】黎耀, 等. 基于 Hash 函数改进遗传算法的 IP% 下模糊异常检测模型 [J]. 武汉大学学报, 2006, 52 (5): 600—603.
- 【18】周鹏. 基于代购信息的可变种群规模遗传算法 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 2006, 20 (3): 47—49.
- 【19】刘清, 等. 多点正交交叉的遗传算法 [J]. 计算机工程, 2005, 31 (24): 151—153.
- 【20】李平, 等. 多亲遗传算法的理论分析及其应用研究 [J]. 计算机工程与设计, 2006, 27 (4): 581—583.
- 【21】都伟, 等. 一种自适应杂交算子的浮点遗传算法 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (6): 1711—1713.
- 【22】吴秋玲, 等. 改进型自适应遗传变异算子 [J]. 河海大学常州分校学报, 2005, 19 (4): 12—15.
- 【23】石季英, 等. 灾变式均匀布种遗传算法 [J]. 计算机仿真, 2005, 22 (10): 133—135.
- 【24】刘华勇. 用遗传算法光顺基于点表示的曲线曲面 [J]. 机械科学与技术, 2006, 25 (7): 826—830.
- 【25】杜永贵, 等. 混合遗传算法的研究现状 [J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16 (10): 168—169.
- 【26】武晓今, 等. 基于模式记忆的免疫遗传算法 [J]. 计算机仿真, 2005, 22 (8): 98—100.
- 【27】李秀芬, 等. 基于隔离小生境的自适应遗传算法研究 [J]. 河南科学, 2005, 23 (6): 903—905.
- 【28】杨晓华, 等. 混沌实码遗传算法在水质模型参数优选中的应用 [J]. 水电能源科学, 2006, 24 (5): 1—4.
- 【29】黄蓓, 等. 基于量子遗传算法的非线性无约束优化方法 [J]. 人工智能, 2006, 22 (3—2): 264—266.
- 【30】刘国光. 产品概念设计可拓进化方法研究 [J]. 机械工程与自动化, 2006 (2): 168—170.
- 【31】郑高飞, 等. 带子群自组织蠕虫算法及其在多模式问题中的应用 [J]. 计算机工程, 2006, 32 (7): 182—184.
- 【32】张勤, 等. 隔代强制进化遗传算法在换热网络优化中应用 [J]. 热能动力工程, 2006, 21 (6): 608—611.

(下转第 172 页)

慢^[5]，所以本文提出一种用 SMULNK 自带查表 (Look-up Table) 模块取代 S 函数实现梯形波反电动势的方法。采用这种方法建模只需将用 S 函数方法中的构造反电势的 S 函数部分用以下介绍的模块代替，其余不变就可以。

查表模块的功能是对输入进行分段线性映射成一张由模块参数定义的表。用户可以通过参数模块输入值向量 (Vector of Input Values) 和模块输出值向量 (Vector of Output Values) 来定义此表。而该模块功能是通过比较输入信号和模块输入值向量，查表求值或进行线性插值得到输出结果^[6]。

BIDCM 本体仿真模型中，是根据转子转动的角度信号来产生反电动势的波形。但转子角度信号是由角频率积分所得，使用时须转化到 $0 \sim 2\pi$ 来反映转子在空间的位置。本文使用自定义函数模块 (Fcn) 定义转化函数。

$$\theta = u - \text{floor}(u/2/Pi)2\pi \quad (8)$$

式中： u 为输入的转子角度信号， $\text{floor}()$ 为取整函数， P 为 π ， θ 为输出的转子空间位置 ($0 \sim 2\pi$)。

构建的 BIDCM 本体模块如图 7 所示，仿真输出的三相定子电流波形如图 8 所示，三相梯形波反电势波形如图 9 所示。

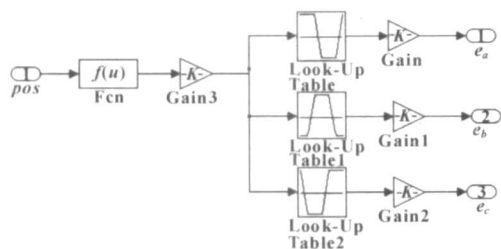


图 7 查表法构造反电动势仿真模块

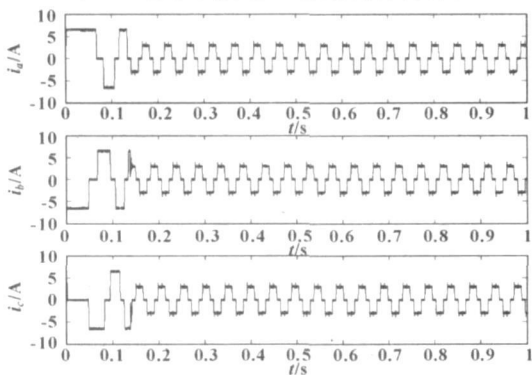


图 8 查表法三相定子电流仿真波形

两种仿真方法取得的反电动势波形都符合 BIDCM 的要求。利用 S 函数的方法只需编写 M 文件，算法设计简单，易于理解，但语法要求严格调试容易出现错误。利用 Look-up Table 模块实现参数设定比较复杂，但仿真速度快。在使用时可根据情况选择这

两种方法实现。

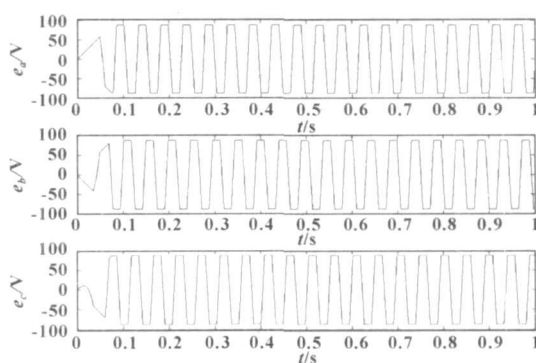


图 9 查表法反电动势仿真波形

3 结论

本文从组成结构、工作原理以及数学模型等方面介绍无刷直流电动机，并根据数学模型，利用两种方案设计了基于 MATLAB/SMULNK 的无刷直流电动机仿真模型。

参考文献

- [1] 颜南明, 李长兵. 基于 MATLAB 下的 BIDCM 调速系统仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2002 14 (4): 462—463.
- [2] 李颖, 朱伯立, 张威. SMULNK 动态系统建模与仿真基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [3] 纪志成, 沈艳霞, 姜建国. 基于 Matlab 无刷直流电机系统仿真建模的新方法 [J]. 系统仿真学报, 2003 15 (12): 1745—1749.
- [4] 叶振锋, 雷淮刚. 基于 MATLAB 的 BIDCM 控制系统仿真 [J]. 电气传动自动化, 2005 27 (1): 23—25.
- [5] 沈艳霞, 纪志成, 姜建国. 一种基于 MATLAB 建立无刷直流电机数学模型的新方法 [J]. 电气传动, 2004 (2): 27—29.
- [6] 杨发权. 永磁无刷直流电机驱动系统的动态模型 [J]. 电气传动自动化, 2004 26 (4): 23—26.

(上接第 179 页)

- [33] 李订芳, 等. 基于可行域的遗传约简算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2006 27 (2): 312—315.
- [34] 王本年, 等. 基于生态种群捕获竞争模型的进化遗传算法 [J]. 计算机应用与软件, 2005 22 (7): 20—22.
- [35] D. Goldberg, R. Lingle. Alleles, Loci and the Traveling Salesman Problem [Q]. In: Gefenstette J Editor. Proceedings of First International Conference on Genetic Algorithms. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey 1985. 154—159.
- [36] 张超, 等. 遗传算法在蛋白质结构预测中的应用 [J]. 生物技术通讯, 2006 289—292.