

215-222

## 遗传算法的研究与进展

陈根社 陈新海

(西北工业大学航天工程学院 西安 710072)

TP273

**A 摘要** 遗传算法是建立在自然遗传学机理基础上的参数搜索方法,本文介绍了遗传算法的思想来源和基本原理,比较了遗传算法与其他人工智能技术,论述了它在优化、机器学习,尤其是控制领域中的应用成果,并对进一步的研究工作提出了一些展望。

**关键词** 遗传算法, 人工智能, 优化, 机器学习, 控制系统

## 1 引言

近年来,一种在思路和方法上别开生面的新的优化算法——遗传算法(Genetic Algorithms, GA)正在迅速发展. GA 以其很强的解决问题的能力 and 广泛的适应性渗透到研究与工程的各个领域,取得了良好的效果. 在国外,几种会议已设有 GA 的专题,而且已有专门的 GA 国际会议,每两年召开一次,如今已开了四次,发表了数千篇论文,对其基本的理论、方法和技巧做了充分的研究. 今天,GA 的研究已成为国际学术界跨学科的热门话题之一.

GA 从大自然的杰作——生物进化论中得到灵感与启迪,地球上的生物在漫长的进化过程中,逐渐从最简单的低级生物一直发展到万物之灵的人类,这是一个绝妙的优化过程. 达尔文的进化论说明,生物进化经历了突变、自然选择和隔离等过程的渐次分化,而得以成新种. 这一奇迹并非来自神创,而是一个“物竞天演,适者生存,不适者淘汰”的“自然选择”过程的必然结果. 那么,能否将“自然选择”这一法则,用于科学研究和工程实际中的种种搜索和优化问题中呢? GA 正是从这一疑问开始的. 早在 1962 年,美国 Michigan 大学 Holland 教授就提出了 GA 的基本思想,GA 的数学框架是在 60 年代末期形成的,并且在 1975 年 Holland 的专著中予以介绍<sup>[1]</sup>. 随后,GA 开始吸引大量的研究者和探索者<sup>[2-6]</sup>,并在许多工程领域得到了应用,如管道线路优化<sup>[7]</sup>、机器学习<sup>[8,9]</sup>、模型识别<sup>[10]</sup>、神经网络结构参数优化<sup>[11]</sup>、及权重学习<sup>[12]</sup>、精调模糊逻辑控制器<sup>[13]</sup>、飞船控制系统优化<sup>[14]</sup>等. Krishnakumar 等提出了许多 GA 的变形,如小遗传算法( $\mu$ GA)<sup>[15]</sup>、模糊遗传算法<sup>[16]</sup>、修正的遗传算法<sup>[17]</sup>等.

作者认为,作为一种进化论的数学模型,GA 饱含哲理,在思想方法上将给予人们有益的启迪与教益.

## 2 遗传算法的基本原理

GA 是建立在自然选择和群体遗传学机理基础上的随机、迭代、进化,具有广泛适用性的搜索方法. 所有的自然种类都是适应环境而得以生存,这一自然适应性是 GA 的主旋律. GA 搜索结合了达尔文适者生存和随机信息交换,前者消除了解中不适应因素,后者利用了原有解中已有的知识,从而有力地加快了搜索过程. 下面举例说明基本方法.

对于一个给定的优化问题,设目标函数

$$F = f(x, y, z), \quad (x, y, z) \in \Omega, \quad F \in R \quad (1)$$

要求  $(x_0, y_0, z_0)$  使得 (不失一般性, 假设求最大值)

$$F = f(x_0, y_0, z_0) = \max_{(x, y, z) \in \Omega} f(x, y, z)$$

其中  $(x, y, z)$  为自变量,  $\Omega$  是  $(x, y, z)$  的定义域,  $x, y, z$  可以是数值, 也可以是符号;  $F$  为实数, 是解的优劣程度或适应度的一种度量;  $f$  为解空间  $(x, y, z) \in \Omega$  到实数域  $F \in R$  的一种映射. 那么 GA 的求解步骤如下:

#### (1) 编码

用一定比特数的 0, 1 二进制码对自变量  $x, y, z$  进行编码形成基因码链, 每一码链代表一个个体, 表示优化问题的一个解. 如  $x$  有 16 种可能取值  $x_0, x_1, \dots, x_{15}$ , 则可以用 4 bit 的二进制码 0000—1111 来表示. 将  $x, y, z$  的基因码组合在一起则形成码链.

#### (2) 产生群体

$t=0$ , 随机产生  $n$  个个体组成一个群体  $P(t)$ , 该群体代表优化问题的一些可能解的集合. 当然, 一般来说, 它们的素质都很差. GA 的任务是要从这些群体出发, 模拟进化过程, 择优汰劣, 最后得出非常优秀的群体和个体, 满足优化的要求.

#### (3) 评价

按编码规则, 将群体  $P(t)$  中的每一个体的基因码所对应的自变量取值  $(x_i, y_i, z_i)$  代入 (1) 式, 算出其函数值  $F_i, i=1, 2, \dots, N$ .  $F_i$  越大, 表示该个体有较高的适应度, 更适应于  $f$  所定义的生存环境, 适应度  $F_i$  为群体进化时的选择提供了依据.

#### (4) 选择(复制)

按一定概率从群体  $P(t)$  中选取  $M$  对个体, 作为双亲用于繁殖后代, 产生新的个体加入下一代群体  $P(t+1)$  中. 一般  $P_i$  与  $F_i$  成正比, 就是说, 适合于生存环境的优良个体将有更多的繁殖后代的机会, 从而使优良特性得以遗传. 选择是遗传算法的关键, 它体现了自然界中适者生存的思想.

#### (5) 交叉

对于选中的用于繁殖的每一对个体, 随机地选择同一整数  $n$ , 将双亲的基因码链在此位置相互交换. 如个体  $X, Y$  在位置 3 经交叉产生新个体  $X', Y'$ , 它们组合了父辈个体  $X, Y$  的特征, 即

$$\begin{aligned} X &= X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 \quad [00011] \\ Y &= Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 \quad [11100] \\ &\quad \downarrow \\ X' &= X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 \quad [00000] \\ Y' &= Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 \quad [11111] \end{aligned}$$

交叉体现了自然界中信息交换的思想.

#### (6) 变异

以一定概率  $P_m$  从群体  $P(t+1)$  中随机选取若干个体, 对于选中的个体, 随机选取某一位进行取反运算, 即由  $1 \rightarrow 0$  或由  $0 \rightarrow 1$ . 同自然界一样, 每一位发生变异的概率是很小的. 变异模拟了生物进化过程中的偶然基因突变现象. GA 的搜索能力主要是由选择和交叉赋予的, 变异算子则保证了算法能搜索到问题解空间的每一点, 从而使算法具有全局最优, 它进一步增强了 GA 的能力.

对产生的新一代群体进行重新评价选择、交叉、变异, 如此循环往复, 使群体中最优个体的适应度和平均适应度不断提高, 直至最优个体的适应度达到某一限值或最优个体的适应度和群体的平均适应度值不再提高, 则迭代过程收敛, 算法结束。

人们不禁要问: 上述如此简单的过程, 果真能产生神奇的效果吗? Holland 的模式定理 (Schema theorem)<sup>[1,2]</sup> 通过计算有用相似性, 即建筑块 (building block), 从而在一定程度上奠定了 GA 的数学基础。检查包含在群体中的各种模式的增长速率可以更进一步地增强对 GA 处理能力的理解。因此, 理解模式的概念对更好地理解 GA 具有十分重要的意义。下面简要介绍一些模式的概念:

① 在全部个体的通体  $\Omega$  中, 具有某些共同特性的一个子集  $H \in \Omega$ , 称为一个模式。

② 模式中的每一位, 若“1”与“1”匹配, “0”与“0”匹配, “\*”与两者任一匹配, 那么我们称这一模式与字符串匹配。

如: 对于  $A=101$ , 下面的模式传输同样的信息:  $A1=10*$ ;  $A2=*01$ ;  $A3=***$ ;  $A4=1**$ 。

③ 基数为  $k$  的基因链 (字符串) 含有  $(k+1)^l$  个模式 ( $l$ =串的长度)。

④ 大小为  $N$  的群体大约含有  $2^l$  到  $N \cdot 2^l$  个模式。

⑤ 模式的阶  $O(H)$ , 是指模式中含有 0 和 1 的个数; 模式的定义长度  $\delta(H)$ , 是指第 1 位数码和最后一个数码之间的距离。

如: 对于模式  $A1=1***1$ ,  $O(A1)=2$ ,  $\delta(A1)=3$

⑥ Holland 的模式定理: 低阶、定义长度短的模式在群体中指数增加。他预言在群体大小为  $N$  的字符串中, 处理的模式数目为  $O(n^3)$ 。这说明了 GA 的处理能力与传统优化方法相比而具有的卓越优点, 是 GA 具有独特魅力的主要原因。因此, GA 也称为隐式并行算法 (implicit parallelism)。

综上所述, 与传统的搜索方法相比, GA 具有以下特点:

(1) GA 处理参数集合的编码, 而不是参数本身, 也就是说, 其操作是在给定字符串上进行的。

(2) GA 同时搜索解空间中的许多点, 而不是一个点, 因而能够快速全局收敛。

(3) GA 只需一个适应性函数 (性能指标), 而不需要导数或其它辅助信息, 因而具有广泛的适应性。

(4) GA 使用概率规则指导搜索而不是确定性规则, 因此能搜索离散的有噪声的多峰值复杂空间。

(5) GA 在解空间内进行充分的搜索, 但并不是盲目的穷举或瞎碰 (评价为选择提供了依据), 因此其搜索时耗和效率往往优于其他优化算法。

当然, GA 还存在一些问题, 如群体的大小, 交叉、变异概率是实验参数, 它们是很难选择的。然而实际研究中已得到一些有用的结果以供参考<sup>[4]</sup>。同样, GA 不一定总是获得最优解, 这一问题称为成熟前收敛 (premature convergence), 其主要发生于解的适应度值停止提高, 即适应度值达到平衡时, 还没有达到最优值。现在已有文献解决这一问题。

### 3 遗传算法与其他人工智能技术的比较

本节我们将 GA 与现在设计和优化控制系统所用的人工智能技术做一比较。这些人工智

能技术包括(但不局限于)人工神经网络(ANN)、基于知识的系统(KBS)、模糊逻辑系统(FLS)以及模拟退火(SA)。KBS 和 FLS 在控制中的应用依赖于所要解决问题的验前知识,因此不属于从过去性能学习的方法。另一方面,ANN 则不断学习系统的输入输出关系。

模拟退火算法是一类求解组合最优化问题的有效的随机迭代近似算法,它在大系统优化方面引起了人们极大的关注。SA 利用类似于组合优化的统计机理而具有很强的能力。最近,对于旅行推销员问题(travelling salesman problem),Petersen 比较研究了 GA,SA 和 ANN 方法<sup>[18]</sup>。结果表明,GA 在某些方面具有更好的性能。Goldberg 等也讨论了 GA 与 SA 的联系<sup>[19,20]</sup>。GA 和 SA 的差别在于,GA 强调了重新组合和生物系统中的其他运算,这使得 GA 具有进一步可扩展性。也就是说,一旦自然界中的其他现象被人们所理解,即可扩充到 GA 中去。

#### 4 遗传算法的应用

GA 可解决许多传统方法难以处理的问题。下面就优化、机器学习和控制领域予以介绍。

##### 4.1 优化领域中的应用<sup>[21]</sup>

- 工程——结构优化,超大规模集成电路布线,作业调度(job-shop scheduling)。
- 社会科学——猎人收集者/农学家变化建模(hunter-gather/agriculturist transition modeling),囚犯困境问题(prisoner's dilemma problem),性能规范仿真(behavioural norms simulation)。
- 生物——单细胞生物体仿真。

##### 4.2 机器学习领域中的应用

Holland 的分类器系统是基于遗传算法机器学习的一个典型例子<sup>[22]</sup>。分类器系统中含有一组规则(称为分类器)。它通过匹配,学习如何控制或解释一些外部环境的性能,规则具有条件/行为格式,且以固定长度的字符串形式表示。

分类器系统有三个相互联系的子系统:

- 1) 规则和消息(message)部分;
- 2) 规则评价部分;
- 3) GA 部分。

分类器进行一系列循环运算。

- 环境的信息处理为固定长度的消息(位字符串),以补充到消息表(message list)中。
- 表中的所有消息看作分类器的条件部分,行为部分的匹配结果可能标记为新的消息表中的一条。
- 新的消息表是通过规则来评价和 GA 部分产生的,并且取代原来的消息表。新消息表中的消息处理成外部环境的输出信号。

规则评价部分主要用于决定哪些被标记的分类器将组成新的消息表,这一决策是基于分类器的强度——它是赋予每一分类器的关于有用性的动态测量。好的分类器具有较高的强度,且它们的行为部分被规则评价系统优先选择。分类器被选择的频率越高,其强度变得越大。

GA 部分主要任务是产生新的分类器。分类器系统在许多领域得到了应用,如获取规则集合以预测公司的利润。Brooker 等<sup>[23]</sup>对分类器系统和 GA 进行了更加详细的评述。

### 4.3 控制领域中的应用

#### 4.3.1 自适应控制

前面讨论的简单遗传算法(SGA),对于许多函数优化问题已表明成为非常有用的工具,SGA的一个缺点是评价大群体,一代一代的适应度函数(性能指标)比较耗时.文献[15]介绍了一种 $\mu$ GA,结果表明运用 $\mu$ GA实现到达近似最优区域大大快于运用SGA.同时也说明了 $\mu$ GA对于出现多模态情况的优越性能以及在求解非平稳(non-stationary)函数优化的卓越优点,文献[15]和[24]提出应用 $\mu$ GA进行非平稳函数优化,文献[15]使用 $\mu$ GA精调风切换自适应控制器,文献[24]应用 $\mu$ GA设计了一个倒立摆自适应控制器.

#### 4.3.2 鲁棒反馈控制系统设计

流行的优化方法为不确定系统的反馈系统设计提供了有力的工具.如果已知系统的参数集合具有一定的概率分布,那么基于这一概率分布,在每代随机提取参数集合,用于仿真系统.这种收敛解的方式包含了在一定条件下具有鲁棒性能的控制器的设计.文献[25]应用多个模型法给出了这样一个实例.

#### 4.3.3 PID控制

在这种控制方式中,GA用作精调PID参数.文献[26]研究了一种数字PID控制方案,其控制律方程为

$$U_k = T k_1 e_k + T k_2 z_k + k_3 (e_k - e_{k-1}) \quad (1)$$

其中

$$e_k = v - y_k, \quad z_k = z_{k-1} + T e_{k-1} \quad (2)$$

$$k_1 = H^{-1}(T) \Pi \quad (3)$$

$$k_2 = G^{-1}(T) \Sigma \quad (4)$$

$$k_3 = H^{-1}(T) \Delta \quad (5)$$

使用GA调节矩阵集合 $[\Pi, \Sigma, \Delta]$ .这种方法具有的独特魅力之处在于,即使对于具有高度交互动力学的多变量复杂系统,其使用非常简单.这样控制工程师只要集中力量设置合适的反映工程实际需要的标量适应度值即可.

#### 4.3.4 模糊逻辑控制器(FLC)优化

模糊逻辑控制器在许多领域得到成功的应用.这些基于规则的系统将模糊语言变量引入规则集合中,用以对人的经验方法建模.模糊逻辑控制器包括指导决策过程的规则 and 将语言变量转换为控制应用所需的精确数值量的隶属度函数.由于规则集合和隶属度函数在决定控制行为方面具有十分重要的作用,因此变换规则集合和隶属度函数可以使FLC具有自适应能力.文献[13]提出了应用GA精调控制中人定义的模糊逻辑集合概念.实例表明FLC集合可以设计为具有任何希望的性能.由于FLC在噪声条件下能够很好地工作,因此精调最优性能的FLC集合具有重要的意义.本文作者提出应用GA改变隶属度函数,以使FLC具有自适应能力,并将之用于设计飞船自动交会控制器<sup>[27]</sup>.

#### 4.3.5 最优控制

文献[17]研究了应用修正的GA进行离散时间最优控制问题.三个实验结果(线性二次型,收获问题(the harvest problem),手推车(push-cart problem)非常成功,说明了其应用潜力,该文并且给出了在最优控制领域需要进一步研究的课题.本文作者提出应用GA求解Riccati方程,并将之用于飞船控制系统设计<sup>[14]</sup>.

#### 4.3.6 系统辨识

系统辨识是控制系统设计的基础,而非线性辨识则更为人们所关注.遗传算法为非线性系统的辨识提供了一种简单,然而却是普遍适用的新方法<sup>[28]</sup>.该文结果表明 GA 不仅可以辨识参数,而且可以辨识时滞和模型结构.文献[29]也进行了这方面的工作,表明了其应用潜力.

#### 4.3.7 故障诊断

自学习诊断规则能够减轻(消除)知识获取的困难,尤其是对故障没有经验的情况更是如此.文献[30]提出应用 GA 自学习操作员比例混合过程(pilot-scale mixing process)和连续搅拌反应器的诊断规则.结果表明,通过 GA 可以有效地发现适合于一组给定训练数据的诊断规则.这样,GA 为从一组训练数据中自动建立规则提供了一种有效的手段.

#### 4.3.8 多变量反馈控制的特征结构配置

多年来,线性系统在输出反馈作用下的特征结构配置问题始终是控制理论中的一个重要研究课题.我们知道,对于多变量线性系统而言,无论是连续的还是离散的,控制系统的品质在很大程度上都要取决于该系统的特征结构配置.近年来,虽然提出了各种有力的算法,但是至今没有普遍适用和计算稳定的方法.文献[31]将 GA 引入其中,解决了这一问题,仿真结果表明了有效性.

#### 4.3.9 神经网络控制

目前,神经网络应用于控制系统的研究异常活跃,并得到了相当的进展<sup>[32]</sup>.神经网络应用于控制领域,采用最普遍的是多层前馈神经网络模型,它具有广泛的从输入到输出的映射能力.但由于采用反向传播算法常常需要很长的学习时间才能收敛,而且不可避免地会遇到局部极小问题,文献[11,12]应用 GA 解决了这一问题.仿真结果表明,采用 GA 学习的神经网络控制器兼有神经网络的广泛映射能力和遗传算法快速全局收敛以及增强式学习等性能<sup>[11]</sup>.

### 5 讨论与展望

虽然 GA 已经产生了非常好和有意义的结果<sup>[2,33]</sup>,但是对于其原理的理解和应用还处于初期,将它引入控制领域更是近几年的事.有许多亟待完善之处,主要包括:

- 1) GA 的收敛性定理证明比较困难,需要寻求更有效的分析手段和严格的数学证明.
- 2) 在 GA 拓扑方面需要建立指导性的理论,特别需要研究适合于控制领域的其他 GA 变形.
- 3) GA 群体大小、遗传算子的概率、编码方式、选择方式尚需进一步研究.
- 4) 利用现代并行处理器,如 transputer 改进 GA 的性能是一个很重要的研究方向.不失时机地开展这方面的研究,具有十分诱人的前景.
- 5) 由于许多复杂和非线性系统都是采用启发方法精调的,这些工作可以用 GA 来替代.由于 GA 对优化问题不太敏感,因而 GA 为其提供了一个鲁棒的搜索方法.

总之,GA 的理论研究尚需进一步深入,应用领域有待进一步开拓.但可以相信,GA 为控制系统的设计引入了一个独特的方法,它必将在控制领域中得到更广泛的应用.

### 参 考 文 献

- 1 Holland J. *Adaptation in Nature and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Michigan, 1975.
- 2 Goldberg D E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.

- 1989.
- 3 De Jong K A. An Analysis of the Behavior of Genetic Adaptive Systems. Dissertation Abstract International, 1975, 41 (9), 3503B.
- 4 Grefenstette J J. Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms. IEEE Trans System, Man, and Cybernetics, 1986, SMC-16(1), 122-128.
- 5 Schaffer J D, Caruana R A, Eshelman L J, Das R. A Study of Control Parameters Affecting On-Line Performance of Genetic Algorithms for Function Optimization. Genetic Algorithm and Their Application: Proceeding of the Third International Conference on Genetic Algorithms, 1989, 51-60.
- 6 Schaffer J D. Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithm. Genetic Algorithms and Their Applications: Proceeding of First International Conference on Genetic Algorithms, 1985, 93-100.
- 7 Goldberg D E, Kuo C H. Genetic Algorithms in Pipeline Optimization. J Comput Civil Eng, 1987, 1(2), 128-141.
- 8 De Jong K. Learning with Genetic Algorithm: An Overview. Machine Learning, 1988, 3(2,3), 121-138.
- 9 Twardowski K E. Implementation of a Genetic Algorithm Based Associative Classifier System. Proceedings of the 2nd International IEEE Conference on Tools for Artificial Intelligence, 1990, 48-54.
- 10 CHEN Genshe, CHEN Xinhai. Application of Modified Genetic Algorithm to Computer Vision for Spacecraft Rendezvous. Proceedings of International Conference on Modeling, Simulation and Control, 1993, 3, 856-863.
- 11 方建安, 邵世煌. 采用遗传算法学习的神经网络控制器. 控制与决策, 1993, 8(3), 208-212.
- 12 Bornholdt. General Asymmetric Neural Network and Structure Designed by Genetic Algorithms. Neural Network, 1992, 5(2), 327-334.
- 13 Freeman L M, Krishnakumar K, Karr C L, Meredith D L. Tuning Fuzzy Logic Controller Using Genetic Algorithms Aerospace Applications. Proceedings of the AAAI'90 Conference, Dayton, 1990, 351-358.
- 14 陈根社, 陈新海. 应用遗传算法设计自动交互控制器. 西北工业大学学报, 1994, 12(2), 247-253.
- 15 Krishnakumar K. Micro-Genetic Algorithm for Stationary and Non-Stationary Function Optimization. Proceedings of the SPIE'S Intelligent Control and Adaptive Systems Conference, 1989, 289-296.
- 16 Krishnakumar K, Prasanth R K. Variations in Simple Genetic Algorithm Based on Maximizing Entropy and Maximizing Information. Proceedings of the Second Workshop on Neural Network, Auburn, Alabama, 1991, 687-693.
- 17 Michalewicz Z, Janidow C, Bratczycki J. A Modified Genetic Algorithm for Optimal Control Problems. Computers Math Appl, 1992, 23(12), 83-94.
- 18 Petersen C. Parallel Distributed Approaches to Combinatorial Optimization. Neural Computation, 1990, 2(3), 261-269.
- 19 Goldberg D E. A Note on Boltzmann Tournament Selection for Genetic Algorithm and Population-Oriented Simulated Annealing. TCGA Report, 1990, 90003.
- 20 Lin F T, Kao C Y, Hsu C C. Incorporating Genetic Algorithm into Simulated Annealing. Proceedings of International Symposium on Artificial Intelligence, Cancun, 1991, 290-297.
- 21 Galletly J. An Overview of Genetic Algorithms. Kybernetes, 1992, 21(6), 26-30.
- 22 Holland J H. Adaptation. Progress in Theoretical Biology, 1976, 4, 263-293.
- 23 Brooker L B, Goldberg D E, Holland J H. Classifier Systems and Genetic Algorithms. Artificial Intelligence, 1989, 40 (2), 235-282.
- 24 Karr C L. Design of an Adaptive Fuzzy Logic Controller Using Genetic Algorithm. Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms. San Diego, 1991, 26-33.
- 25 Schmitendorf W, Benson R. Simultaneous Stabilization Using Genetic Algorithms. AIAA GNC Conference, 1991, 1503-1509.
- 26 Potter D, Jones A H. Genetic Tuning of Digital PID Controllers. Electronics Letters, 1992, 28(9), 834-844.
- 27 CHEN Genshe, CHEN Xinhai. Improved Fuzzy Logic Controller Using Genetic Algorithm and its Application to Spacecraft Rendezvous. Proceedings of 1993 IEEE Beijing 10 Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering, Beijing, 1993, 4, 300-303.

- 28 Johnson T, Husbands P. System Identification Using Genetic Algorithms. *Parallel Problem Solving from Nature*, 1st Workshop, Germany, 1990, 85—89.
- 29 徐滨生,毛绪瑾. 遗传算法在控制中的应用初探. 控制理论与应用年会论文集, 1992, 709—712.
- 30 ZHANG J, Roberts P D. Use of Genetic Algorithms in Training Diagnostic Rules for Process Fault Diagnosis. *Knowledge-Based Systems*, 1992, 5(4), 277—288.
- 31 陈根社,陈新海. 应用遗传算法求解特征结构配置. 控制理论与应用年会论文集, 1993, 11—15.
- 32 田明,戴汝为. 神经网络控制系统. 信息与控制, 1992, 21(3), 156—161.
- 33 Davis L. *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

## ADVANCES IN GENETIC ALGORITHMS

CHEN Genshe CHEN Xinhai

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an)

**Abstract** Genetic algorithms (GA) are parameter search procedures based on nature genetics mechanics. The origin and mechanics of GA are introduced in this paper. GA are compared with the other artificial intelligence technique. A range of applications in optimization, machine learning, and control field are reviewed. The suggestions for future development of GA are also discussed.

**Key words** genetic algorithms, artificial intelligence, optimization, machine learning, control system

(陈根社,男,28岁,博士,现在北京航空航天大学自动控制系,主要从事遗传算法,基于飞行控制的并行算法与计算机结构,智能飞行控制,综合化航空电子系统,大型空间结构动力学与控制等方面的研究。)

(上接第214页)

- 2 Palanisamy K R. Analysis and Optimal Control of Linear Systems via Single Term Walsh Series Approach. *Int J System Sci*, 1981, 12(4), 443—454.
- 3 朱善安等. 采用正交函数辨识电液控制系统. 自动化学报, 1989, 15(6), 515—522.
- 4 曹长修等. 利用切比雪夫级数辨识线性分布参数系统. 自动化学报, 1989, 15(2), 178—181.

## A NEW METHOD FOR PARAMETER IDENTIFICATION OF LINEAR DISTRIBUTED PARAMETER SYSTEMS

TAN Guojie

(Automation Research Institute of Ministry of Metallurgical Industry)

**Abstract** In this paper, the partial differential equation, which describes linear distributed parameter systems (DPS) with unknown parameters, is transformed into matrix equation using block pulse functions (BPF), and the parameters of the linear DPS are identified by least square method. A computed example has been given in the paper, and the result shows BPF identification method is simpler, easier to realize, and it has higher identification precision.

**Key words** block pulse function, distributed parameter system, identification

(檀国杰,男,28岁,工程师,主要从事自动控制理论与应用(尤其系统辨识)以及集散控制系统的研究和应用。)