

文章编号: 1001-0920(2001) 01-0016-05

采用 DNA 遗传算法优化设计的 TS 模糊控制系统

任立红, 永生, 邵世煌
(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 200051)

摘 要: 基于生物 DNA 的结构和遗传机理, 提出一种新颖的基于 DNA 编码方法的遗传算法。给出了 DNA 遗传算法的结构, 讨论了遗传操作算子。为验证 DNA 遗传算法的有效性, 将其应用于 TS 模糊控制系统的优化设计, 仿真结果表明该算法具有较好的自学习能力。

关键词: DNA 结构; DNA 编码; 遗传算法; TS 模糊控制

中图分类号: TP18

文献标识码: A

Optimal Design of TS Fuzzy Control System Based on DNA Genetic Algorithm

REN Li-hong, DING Yong-sheng, SHAO Shi-huang

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: A new DNA encoding method-based genetic algorithm is proposed based on the structure and the genetic mechanism of biological DNA. The structure of DNA genetic algorithm is provided, and its genetic operators are discussed. In order to examine the effectiveness of DNA genetic algorithm, it is applied into the optimal design of TS fuzzy control system. The simulation results show excellent self-learning capability of DNA genetic algorithm.

Key words: DNA structure; DNA coding; genetic algorithm; TS fuzzy control

1 引 言

随着控制系统的日益复杂化, 模糊控制在许多实际工程中受到人们的广泛关注。模糊系统主要有两类: Mamdani 型模糊系统和 Takagi-Sugeno(TS) 型模糊系统。相对而言 TS 型模糊系统的实际应用较少, 这是由于其后项设计参数较多, 难以得到一组最优或次优的设计参数。尽管已有采用神经网络和遗传算法来优化和设计 TS 模糊控制系统, 然而神经网络所设计的模糊控制器往往不是全局最优; 而常规遗传算法虽然具有全局搜索能力, 但局部搜索

解空间时不是很有效, 且在处理复杂、混淆和多任务问题时不够灵活, 计算速度慢。这是由于它是基于 0-1 编码模型的遗传操作, 不能表达丰富的遗传信息, 也不能反映遗传信息对生物体生长、发育的调控作用。

Aleman 首次用生物实验显示了 DNA 用于计算的可能性^[1]; Lipton 进一步论证了 DNA 计算可解决完全性问题^[2]。迄今为止, DNA 的研究已涉及许多方面: DNA 计算的能力(通用性和时空复杂性)、模型和算法等^[3]。然而, DNA 计算与软计算中

收稿日期: 1999-12-08; 修回日期: 2000-03-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(69874038); 教育部留学回国人员科研启动基金项目; 上海市曙光计划项目(99SG 20)

作者简介: 任立红(1966—), 女, 内蒙古赤峰人, 副教授, 在职博士生, 从事 DNA 计算、软计算等研究; 邵世煌(1938—), 男, 江苏苏州人, 教授, 博士生导师, 主要从事模糊控制、智能控制等研究。

智能技术相结合的研究还不多见^[4]。从 DNA 计算角度看,在所有基于进化机理的方法中,遗传算法最适合于采用 DNA 来实现。这是由于在遗传算法中,问题最优解的搜索是通过对染色体的位串结构的个体采用交叉和变异等操作,使其不断产生新个体而获取的。而生物染色体是一段双股螺旋的 DNA,生物 DNA 的遗传操作是在碱基结构上进行的。这使得可以通过分析和模仿生物 DNA 的遗传机理,得到一个基于 DNA 编码的计算模型。

本文基于 DNA 的生物机理,探讨 DNA 遗传算法的计算模型,并给出了 DNA 遗传算法的结构、操作算子及其用于一般化 TS 模糊控制系统优化设计的实现步骤。通过对一类非线性对象进行仿真控制,证明 DNA 遗传算法在 TS 模糊控制系统优化设计中是有效的。

2 一般化 TS 模糊控制器的构成

一般化 TS 模糊控制器的两个输入变量是系统的偏差 $e(nT)$ 和偏差变化 $r(nT)$,分别被 N_1 个和 N_2 个输入模糊集模糊化,所采用的隶属度函数 $\mu_i(e)$ 或 $\mu_j(r)$ 为高斯型函数,即

$$\begin{aligned} \mu_i(x) &= \exp(-[(x-b)/a]^2) \\ x &= e(\text{或 } r), \quad x \in (-\infty, \infty) \end{aligned} \tag{1}$$

TS 模糊控制器采用以下带有线性后项形式的 TS 模糊规则

$$\begin{aligned} &\text{if } e(nT) \text{ is } E_i \text{ and } r(nT) \text{ is } R_j \\ &\text{then } \Delta u(nT) = a_{i,j}e(nT) + b_{i,j}r(nT) \end{aligned} \tag{2}$$

其中, $\Delta u(nT)$ 是该规则对 TS 模糊控制器输出变化的贡献, $a_{i,j}$ 和 $b_{i,j}$ 是规则后项设计参数。在各规则中,使用任意的模糊逻辑 AND 操作,且规则后项对应输出的隶属度值为

$$\mu_{i,j}(\Delta u) = \mu_i(e) \odot \mu_j(r) \tag{3}$$

式中符号“ $\odot$ ”表示任意的模糊逻辑 AND 操作。

广义反模糊器用于计算 TS 模糊控制器的输出^[5]

$$\begin{aligned} \Delta u(nT) &= \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (\mu_{i,j}(\Delta u))^{\alpha} (a_{i,j}e(nT) + b_{i,j}r(nT))}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (\mu_{i,j}(\Delta u))^{\alpha}} \end{aligned} \tag{4}$$

采用不同的 $\alpha(0 \leq \alpha < \infty)$,可得到不同的反模糊器。当 $\alpha = 1$ 时,可得到重心反模糊器。

TS 模糊控制器在 nT 时刻的输出为

$$u(nT) = u(nT - T) + \Delta u(nT) \tag{5}$$

TS 模糊控制器(4)被证明是带有可变比例增益和可变积分增益的非线性 PI 控制器^[6],故在处理非线性对象时比线性控制器有效。但由于隶属度函数和规则后项中的设计参数较多,难以解析地设计,因此本文提出一种基于 DNA 机理的遗传算法来对 TS 模糊控制器进行优化设计。

3 基于 DNA 遗传算法优化设计的 TS 模糊控制器

DNA 的基本元素是核苷酸。核苷酸分为 4 类碱基:腺嘌呤(A),鸟嘌呤(G),胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T)。DNA 由两条极长的核苷酸键组成。每条染色体是一段双股螺旋的 DNA,A,T,C 和 G 在核苷酸中排列序列的多样性构成了丰富的遗传信息。从生物 DNA 到蛋白质的形成过程中,先从 DNA 上转录,然后拼接成 mRNA。在 mRNA 中连续排列着由 3 个连续碱基组成的密码子,这些密码子是氨基酸的代码,64 种密码子对应 20 种氨基酸。氨基酸用于合成蛋白质,蛋白质则构成了细胞。

从计算角度看,单股 DNA 可表达为 4 个字母的集合 $\Sigma\{A,T,C,G\}$,DNA 串可作为译码信息,各种酶可看作在 DNA 序列上的计算,不同的酶作为不同的操作算子,对 DNA 可施加分子水平上的操作。也就是说,DNA 计算模型可建立在形式表达 $\Sigma\{A,T,C,G\}$ 且对其进行分子操作的基础上。

DNA 遗传算法是基于 DNA 编码遗传模型进行遗传操作的。DNA 遗传算法的结构与常规遗传算法的结构类似。下面具体说明 DNA 遗传算法求解问题时的步骤:

1) 初始化和 DNA 链编码:使用 n 个具有任意 DNA 链的个体组成初始群体 $P(t)$ 。一个 DNA 链由 4 种碱基 A,T,C,G 的结合体构成。在 DNA 遗传算法初始化时,待解问题的设计参数是通过 4 字符集

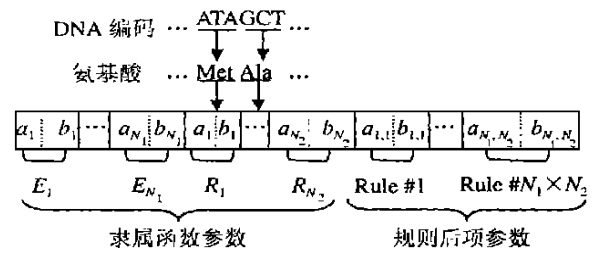


图 1 DNA 码串对应的模糊规则集

表 1 DNA 链密码子对应的参数值

第 1 个 碱 基	第 2 个碱基				第 3 个 碱 基
	T	C	A	G	
T	Phe(- 9)	Ser(- 7)	Tyr(- 6)	Cys(- 5)	T
	Phe(- 9)	Ser(- 7)	Tyr(- 6)	Cys(- 5)	C
	Leu(- 8)	Ser(- 7)	Stop(0)	Stop(0)	A
	Leu(- 8)	Ser(- 7)	Stop(0)	Try (0)	G
C	Leu(- 8)	Pro(- 4)	His(- 3)	Arg(- 1)	T
	Leu(- 8)	Pro(- 4)	His(- 3)	Arg(- 1)	C
	Leu(- 8)	Pro(- 4)	Gln(- 2)	Arg(- 1)	A
	Leu(- 8)	Pro(- 4)	Gln(- 2)	Arg(- 1)	G
A	Ile(1)	Thr(2)	Asn(3)	Ser(- 7)	T
	Ile(1)	Thr(2)	Asn(3)	Ser(- 7)	C
	Met(0)	Thr(2)	Lys(4)	Arg(- 1)	A
	Met(0)	Thr(2)	Lys(4)	Arg(- 1)	G
G	Val(5)	Ala(6)	Asp(7)	Gly(9)	T
	Val(5)	Ala(6)	Asp(7)	Gly(9)	C
	Val(5)	Ala(6)	Glu(8)	Gly(9)	A
	Val(5)	Ala(6)	Glu(8)	Gly(9)	G

$\Sigma\{A, T, C, G\}$ 编码以形成染色体,即 DNA 链。算法的任务是从 DNA 群体出发,模拟进化过程,最后选出优秀的群体和个体,满足求解问题的优化要求。本文 DNA 码串对应 TS 模糊规则集的组成如图 1 所示,模糊系统的各个设计参数组成 DNA 链。

2) 评价:按图 1 的编码规则,将 DNA 群体 $P(t)$ 中每一个 DNA 链的密码子按表 1 所对应的参数值译成模糊系统的参数,并按某一标准计算其评价函数 f_i ,若其评价函数较大,则表示该 DNA 链的适应度较高。需要说明的是,表 1 只给出了参数译码的基本框架,具体应用时可根据不同的问题,将密码子对应的参数范围 $[-9, 9]$ 转换到实际问题参数变化的合理范围。

3) 选择:按一定的概率 P_s 从 DNA 群体 $P(t)$ 中选出 m 个 DNA 链个体,作为双亲用于繁殖后代,产生新的个体加入到下一代 $P(t+1)$ 。

4) 交叉:对于选中的用于繁殖的每一对 DNA 链个体,将其中部分内容进行互换。通过交叉产生新的 DNA 链,基因得以极大地改变。交叉有单点交叉和多点交叉等多种方式,而多点交叉又有 n -点交叉和标准交叉两种类型。在 n -点交叉中,由于两点交叉被证明是 n -点交叉的最优数目,因此本文采用两点交叉。两点交叉的例子如图 2 所示。

5) 变异:以一定的概率 P_m 从 DNA 群体 $P(t+1)$ 中随机选取若干个 DNA 链个体,对于选中的 DNA 链个体,随机地选取某一位进行 DNA 链中碱基序列的变化。DNA 链中的变化有碱基的替换、缺

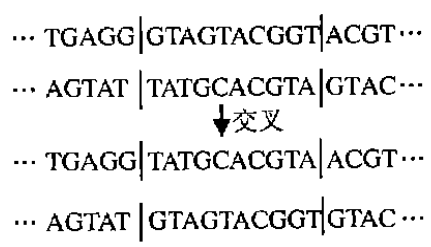


图 2 两点交叉操作的例子

失和嵌入。碱基的替换有两种,一种是转换变异:嘌呤替代嘌呤,嘧啶替代嘧啶,如 T 变为 C;另一种是颠换变异:嘌呤被嘌呤或嘧啶替代,如 T 变为 A 或 G, C 变为 G 或 A。染色体中的一个碱基由 A $\rightarrow$ T 变异的示例,如图 3 所示。碱基的缺失与嵌入又称框构转移变异,即一个或多个碱基缺失或嵌入,再重新组合。



图 3 点变异操作的例子(A $\rightarrow$ T)

6) 倒位:以一定的概率 P_i 从 DNA 群体 $P(t+1)$ 中随机选取若干个 DNA 链个体,对于选中的 DNA 链个体,随机地选取某两个位置,将它们之间的碱基顺序进行倒位。倒位的目的是试图找到进化特性较好的基因顺序。倒位操作是可选的,根据问题的需要而定。倒位操作如图 4 所示。

7) 将产生的新一代 DNA 群体返回第 2) 步,再进行评价、选择、交叉、变异和倒位。如此循环往复,

6 结 语

本文给出的不确定线性系统鲁棒二次最优控制系统分析和综合方法,较好地解决了不确定系统同时鲁棒稳定和鲁棒性能问题。采用时域和频域结合的方法,使理论分析的严谨性和工程应用的便利性得到有机的统一。在鲁棒稳定性分析中考虑其稳定裕度,使所得的结果更具有实际应用的可能性。给出的应用实例很好地证实了这一点。

参考文献:

- [1] Petersen I R, Hollot C V. A Riccati equation approach to the stabilization of uncertain linear systems[J]. Automatica, 1986, 22(4): 397-411.
- [2] Bernstein D S, Haddad W M. Robustness stability and performance analysis for state space systems via quadratic Lyapunov bounds[J]. SIAM J Matrix Anal Appl, 1990, 11(2): 239-271.
- [3] 黄琳,秦化淑,郑应平,等.复杂控制系统理论:构想与前

景[J].自动化学报,1993,19(2):129-137.

- [4] Kemin Zhou, Khargonekar P P, Stoustrup *et al.* Robust performance of systems with structured uncertainties in state space[J]. Automatica, 1995, 31(2): 249-255.
- [5] Mehdi D, Hamid A M, Perrin F. Robustness and optimality of linear quadratic controller for uncertain systems[J]. Automatica, 1996, 32(7): 1081-1083.
- [6] Kosmidou O I. Robust stability and performance of systems with structured and bounded uncertainties: An extension of the guaranteed cost control approach[J]. Int J Contr, 1990, 52(3): 627-640.
- [7] Lehtomaki N A, Sandell Jr N R, Athans M. Robustness results in linear Gaussian based multivariable control designs[J]. IEEE Trans on Autom Contr, 1981, 26(1): 75-92.
- [8] Petersen I R. A stabilization algorithm for a class of uncertain linear systems[J]. Sys & Contr Let, 1987, 8: 351-357.
- [9] 孙优贤.造纸过程建模与控制[M].杭州:浙江大学出版社,1993.

(上接第19页)

5 结 语

本文基于生物DNA机理,提出一种基于DNA编码方法进行问题求解的DNA遗传算法,给出了DNA遗传算法的结构,讨论了遗传操作算子,并将其用于TS模糊控制系统的优化设计。

DNA遗传算法是常规遗传算法的发展,它除包含常规遗传算法所固有的优点外,还有以下特点:

1) DNA编码方法具有知识表达方式的灵活性、编码的丰富和重叠性、染色体长度的可变性,它较二进制编码更适合于复杂知识的表达,且码长大为缩短;

2) DNA遗传算法中可引入基因级操作,从而极大地丰富了进化手段;

3) DNA遗传算法由于其生物机理上固有的并行性,使其收敛速率大大提高。

DNA计算与软计算集成是当前智能控制中一个新的研究方向。DNA遗传算法在许多实际问题中将得到越来越多的应用,故应进一步发展其它基于

DNA机理的智能学习方法。

参考文献:

- [1] Adleman L M. Molecular computation of solutions to combinatorial problems[J]. Science, 1994, 266(5187): 1021-1023.
- [2] Lipton R J. DNA solution of hard computational problems[J]. Science, 1995, 268(5210): 542-545.
- [3] 任立红,丁永生,邵世煌. DNA计算研究的现状与展望[J]. 信息与控制, 1999, 28(4): 241-248.
- [4] Ren Li-Hong, Ding Yong-Sheng, Shao Shi-Huang. DNA bio-soft computing and its application to intelligent control systems[J]. Shanghai Jiaotong University (English Version), 1999, E-4(2): 97-103.
- [5] D P Filev, R R Yager. A generalized defuzzification method via BAD distributions[J]. Int J of Intelligent Systems, 1991, 6(9): 687-697.
- [6] 丁永生.模糊系统的解析分析和设计及其在激光热疗法中的应用(英文)[D].上海:东华大学,1998.