采用 DNA 进化算法优化设计 TS 模糊控制器

翁妙凤

(华东船舶工业学院计算机系 镇江212003)

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

WENG Miao-Feng

(Dept. of Computer, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003)

Abstract The DNA evolutionary algorithm (DNA-EA) and the DNA genetic algorithm (DNA-GA) based on a new DNA encoding method are propsed based on the structure and the genetic mechanism of biological DNA. The DNA-EA and the DNA-GA are applied into the optimal design of TS fuzzy control system. The simulation results show the effectiveness of the two DNA algorithms, excellent self-learning capability. However, the DNA-EA is superior to the DNA-GA in the simulation performance.

Keywords DNA coding, Evolutionary algorithm, Genetic algorithm, TS fuzzy controller, Gene transfer operation

(1)

1. 引言

Takagi Sugeno(TS)模糊模型能够以任意精度逼近定义 在紧致集上的非线性函数,其结论部分(后件)用线性局域方 程取代了一推理过程中的常数。因此 TS 模型可用少量的模 糊规则控制较复杂的非线性系统,在处理多变量系统时能有 效地减少模糊规则数,引起人们的广泛的关注。但由于 TS 模 型的规则后件设计参数较多,难以得到一组最优或次优的设 计参数。虽然已有采用神经网络和遗传算法来优化设计 TS 模糊控制器,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。

脱氧核糖核酸(DNA)携带生命的遗传信息。DNA 于 1994年被L. Ademan 首次用实验显示了用于计算的可能性。 近来很多研究人员搜出了解决各种 NP 完全问题的 DNA 算 法。本文基于 DNA 的生物机理和结构探讨 DNA 进化(遗传) 算法的计算的模型。通过对一类非线性系统进行仿真控制,证 明了 DNA 进化(遗传)算法在 TS 模糊控制系统的优化设计 中是有效的。

2. 数学准备[1]

I T

两输入变量的 TS 模糊控制器的速度型的规则形式为 R₄:if e(t)为 A_i和 r(t)为 B_j,则

 $\Delta u_k(t) = a_{ij}^k e(t) + b_{ij}^k r(t)$

其中误差 $e(t) = \hat{y}(t) - y(t) = 2.5 - y(5)(\hat{y})$ 为期望值, y 为测 量值);误差变化 $r(t) = \Delta e(t) = e(t) - e(t-1)$, e(t)和 r(t)均 为模糊语言变量, 令模糊分割数 $m_t(m=1,2)$ 均为3, 隶属度 函数采用高斯函数表示的铃形函数: μ_{A_t} 或 $\mu_{B_j} = \exp(-[(x-b_t^{-})/a_t^{-}]^2)(x=e(t)$ 或 r(t))(i, j=1,2,3); R_t 为第 k 条规则(k=1,2,…,m),规则总数 $m=m_1 \times m_2=3 \times 3=9$.

每条规则的适用度 $a_k = \mu_{A_i}(e(t)) \wedge \mu_{B_j}(r(t)) = \min \{ \mu_{A_i}(e(t)), \mu_{B_j}(r(t)) \}$ 。

荡妙凤 教授,研究方向为计算机软件和人工智能。

$$\Delta u(t) = \left[\sum_{k=1}^{m} \alpha_{k} (a_{ij}^{k} e(t) + b_{ij}^{k} r(t))\right] / \sum_{k=1}^{m} \alpha_{k}$$
$$= \left[\sum_{k=1}^{m} \alpha_{k} \cdot a_{ij}^{k} e(t)\right] / \sum_{k=1}^{m} \alpha_{k} + \left[\sum_{k=1}^{m} \alpha_{k} \cdot b_{ij}^{k} r(t)\right] / \sum_{k=1}^{m} \alpha_{k}$$
$$= k_{i} e(t) + k_{p} r(t) \qquad (2)$$
$$u(t) = u(t-1) + \Delta u(t) \qquad (3)$$

式(2)已证速度型 TS 模糊控制器是相当于带有可变比 例增益 k,和可变积分增益 ki的 PI 控制器。文中令其所控制 的非线性系统为

$$y(t) = 0.8y(t-1) - 0.6y(t-2) + 0.4u(t-1) + 0.12u^{2}(t-1) + 0.2u(t-2) + 0.06u^{2}(t-2)$$
(4)

(令 e 和 r 的初值分别为0.2和0.0001, u 和 y 的初值均为0)。

由于 TS 模糊系统的隶属度函数和规则后件中的设计参数较多,难以解析地设计,因此提出用基于 DNA 的进化(遗传)算法来优化设计 TS 模糊系统。

3. 用 DNA 进化(遗传)算法优化设计 TS 模糊控制 器^[2~4]

3.1 DNA 染色体编码、适应度及选择

DNA 是重要的基因物质^[2],它的基本元素是核苷酸。由 于化学结构的不同,核苷酸划分为四类碱基(bases):腺嘌呤 (A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T)。DNA 由两条极 长的核苷酸键利用碱基之间的氢键而结合在一起,形成一条 双股的螺旋结构,且一股中的碱基序列与另一股中的碱基序 列互补,A和T配对,C和G配对。遗传信息以A、T、C、G在 核苷酸中的排列顺序而体现。单股DNA可看作由四个不同 符号组成的字母表 $\Sigma = \{A, T, C, G\}$ 上组成的串,DNA 串可 作为译码信息。酶可看作模拟在DNA 序列上的简单计算,不 同的酶用于不同的算子。从生物 DNA 到蛋白质的形成过程 中,先把DNA 转录成 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(见表1),相同的氨基酸有可能对应不同 的密码子。氨基酸用于合成蛋白质,蛋白质构成了细胞。

• 141 •

初始化时,将待解问题的设计参数转化成4个字母字符集 {A,T,C,G}上的编码,构成一个 DNA 链(染色体)(见图1)。 使用 n 个具有任意 DNA 链的个体组成初始群体 g(t)(令群 体规模 n=50)。由图1可知,染色体的长度是由模糊规则数 m (令 m=9)确定。每3个碱基组成的密码子所对应的氨基酸被 解释为输入模糊集和规则后件的参数值,即一个密码子对应 染色体中一个基因,表示一个参数。

文中**的**适应度 f 由下式求得:

 $f = e^2(t) + r^2(t)$



图1 染色体的编码

	表1	DNA	链密码	子对	应自	匀标	数值
--	----	-----	-----	----	----	----	----

第1个碱	第2个碱基序列				第3个碱
基序列	Т	C	A	G	基序列
т	Phe(-9)	Ser(-7)	Tyr(-6)	Cys(-5)	Т
	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
	Leu(-8)	Pro(-4)	His (-3)	Arg(-1)	Т
	Leu(-8)	Pro(-4)	His(-3)	Arg(-1)	С
	Leu(-8)	Pro(-4)	Gln(-2)	Arg(-1)	A
	Leu(-8)	Pro(-4)	Gln(-2)	Arg(-1)	G
	Ile(1)	Thr(2)	Asn(e)	Ser(-7)	Т
	Ile(1)	Thr(2)	Asn(3)	Ser(-7)	С
	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)	Т
	Val(5)	Ala(6)	Asp(7)	Gly(9)	С
	Val(5)	Ala(6)	Glu(8)	Gly(9)	A
	Val(5)	Ala(6)	Glu(8)	Gly(9)	G

按图1的编码规则,将 DNA 群体 g(t)中的一个 DNA 链 (染色体)中的密码子按表1所对应的参数值译成 TS 模糊系 统的参数,并按式(5)计算适应度 f.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。在 DNA 群体 g(t)的遗传操作结束后,将群体中的个体按 f 值 由小到大排序,取前20个复制到下一代 g(t+1)中去(令收敛 判据为50代)。选择采用赌轮法。

3.2 DNA 进化(遗传)算法的遗传操作

3.2.1 DNA 进化算法(DNA-EA)的遗传操作^[3]

A)基因转移操作(相当于普通 GA 中的交叉)

每迭代一次的过程如下;将群体中的个体按 f 值由小到 大排序,从前50%的个体(优良个体集)中随机选一 DNA 链 (称源个体),再从后50%的个体(差劣个体集)中随机选一 DNA 链(称目标个体);根据已给定的标准,从源个体上选取 一优的部分(可能是一条或多条具有较好作用规则转移到目 •142• 标个体上。据此过程每代重复选代 M 次(令 M=20)。基因转移操作可期望快速地把优良(适应度小)个体上的好的子串 (对应于好的模糊规则)扩展到差劣(适应度大)个体上去,提高了全局搜索效率。

B)变异操作

(5)

在 DNA-EA 中,有两种变异算子:细菌变异和框构变异。 本文只选取了细菌变异。

1)细菌变异:假设每个 DNA 链有 P 个部分。从 DNA 群体 n 中选择一个最优个体,随机选取其第:部分,将这部分转移到其余 n-1个 DNA 个体上的相应部分,细菌变异总是作用于群体中的所有个体。

2)框构变异:在生物 DNA 中有两种框构变异,一种是由 酶引起的删除变异即删除 DNA 链上一个或多个碱基;另一 种是由病毒引起的插入变异即在 DNA 链上插入一个或多个 碱基。也就是说通过插入或删除操作来嵌入或缺失 DNA 链 中的一些碱基,这些碱基可以是一条或多条模糊规则。

3.2.2 DNA 遺传算法(DNA-GA)的遺传操作^[4] DNA-GA 的遗传操作和普通 GA 一样,有交叉和变异:①交 叉有单点和多点交叉,本文采用两点交叉,交叉率 $p_c=0.95$; ②DNA 链中的变异有两种,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。本文采用的是 4点变异:在 DNA 链上随机取不等长的4点,T 变为 A,A 变 为 T,G 变为 C,C 变为 G,变异率 $p_n=0.01$ 。

4. 仿真实例

本文所设计的 TS 模糊控制器有9条规则;e(t)和 r(t)的 模糊分割数均为3;需要设计的参数有:输入模糊集参数12个, 规则后件参数18个,共30个参数,故需90位 DNA 码。仿真前 首先用试凑法设计 PI 控制器,求得比例增益 $k_p=0.1$,积分增 益 $k_I=0.12$ 。根据式(2),TS 模糊控制与 PI 控制器之间的关 系为每一规则后件的设计参数确定一合理的初值范围,可大 致确定参数的初值变化范围^[3]。即: $[a_{ij}^{m},a_{ij}^{m}]=[b_{ij}^{m},b_{ij}^{m}]=$ [0,0.3]。然后可求出从表1的参数变化范围[-9,9]到[0, 0.3]的转化关系:(9+后件参数值)/18.0×0.3;高斯型隶属 度函数的参数值初值范围^[4]为[-0.9,0.9],由[-9,9]到[-0.9,0.9]的转化关系为:前件设计参数/10.0。

仿真结果表明,经过若干代进化,DNA-EA和 DNA-GA 总能得到用于控制式(4)的TS模糊控制器的一组最优设计 参数(见表2和表3),两种算法的运行结果比较如图2所示,并 且发现若产生的初始个体较好,则进化代数可大大减少。

表2 经 DNA-EA 优化设计的 TS 模糊控制器设计参数 (模型输出为2.5)

a _i , b _{ij} μ1(e)		$\mu_1(r)$	$\mu_2(r)$	$\mu_3(r)$
	a	-0.400	-0.800	-0.700
	ь	-0.400	-0.800	-0.700
	0.000	0. 250	0.000	0.017
	-0.400	0. 150	0. 183	0. 183
- ()	-0.400	0. 233	0.050	0.033
$\mu_2(e)$	-0.800	0.083	0.133	0.150
µ3(e)	0.200	0.133	0.150	0. 017
	0.700	0. 183	0. 083	0. 033

表3	经 NDNA-GA 优化设计的 TS 模型控制器设计参数
	(模型给出为2.5)

.		$\mu_1(r)$	$\mu_2(r)$	$\mu_3(r)$
a _{ij}	a	0.000	-0.100	-0.500
Dıj	Ь	0.000	-0.700	-0.200
μ ₁ (e)	0,000	0. 250	0.000	0.017
	-0.400	0.150	0.183	0.183
	-0.400	0.233	0.050	0. 033
$\mu_2(e)$	-0.800	0. 083	0.133	0.150
μ3(e)	0. 200	0.133	0.150	0.017
	-0.700	0.183	0.083	0.033





图2 经 DNA-GA 与 DNA-EA 优化设计的 TS 模糊控 制器的仿真性能的比较

由图2可见:①两种算法均能在很短时间内收敛到标准 (期望)值2.5,所以算法是有效的;②DNA-EA 在30代收敛,

(上接第140页)

×16256×256次,这几乎不可能攻击成功。

4.3 解密加密的图像无失真

由本文提出的加密解密算法知解密是加密的逆过程,该 算法完全可以把加密图像还原成原始图像,即解密加密的图 像完全可以还原成原始图像。

5 实验结果

为了验证上述算法的有效性,本文对一幅 Lena 图进行实 验。在这个例子中 M=257,N=361。取混沌系统(2)的初始值 $x_0=35$, $x'_0=24$,设置参数 a=94,a'=87,m=256,m'=241迭 代次数 n=6,n'=5数组(x_0 ,a,n,m),(x'_0 ,a',n',m')作为密 钥。加密解密结果如下。数组任意一个数值错误,解密的结果 将不能还原成原始图像。例如:图2为原始图像,图3为加密图 像,图4为密码正确的解密图像,图5为密钥错误($x_0=34$)的解 密图像,图6为密钥错误(a=93)的解密图像,图7为密钥错误 (n=5)的解密图像。图8为密钥错误(m=255)的解密图像。



DNA-GA 在33代收敛,故 DNA-EA 收敛快;③DNA-EA 比 DNA-GA 响应(调整)时间短,上升时间快,超调量小,静态误 差相同,几乎均为0,但 DNA-EA 振荡程度稍大。综上比较可 知,DNA-EA 仿真性能优于 DNA-GA。因为 DNA-EA 的基因 转移操作将适应度较优个体上的好的编码部分直接转移到较 差适应度的个性上,算法频繁地作用于好的规则,促进了群体 性能的提高,有利于全局最优解的搜索。DNA-EA 的细菌变 异对于局部搜索也是很有效的,为了便于比较这两种算法,本 文对此采用了相同的染色体结构(见图1),但这种结构较适于 DNA-GA 的遗传操作,而对于 DNA-EA 则欠佳,从而使 DNA-EA 的优点在本文中尚末能够得到充分体现。下一步的 工作是改进 DNA 链结构,并采用框构变异以获得更好的算 法优化解性能。基于 DNA 机理的学习算法,对解决特定复杂 的实际问题已显示出了极大的潜力,进一步将研究其他一些 基于 DNA 技术的软计算。

参考文献

- 1 孙增圻,张再兴,邓志东编著、智能控制理论与技术.清华大学出版 社,1997
- 2 高琳,许进,张世英,DNA 计算的研究进展与展望. 电子学报, 2001,29(7):973~977
- Shi Y H, Eberhart R, Chen Y B. Implementation of evolu- tionary fuzzy systems. IEEE Tyans. Fuzzy Systems, 1999, 7(2):109~119
- 4 Lim M H, Rahardja S, Gwee B H. A GA paradigm for lear- ning fuzzy rules. Fuzzy Sets & Systems, 1996, 82:177~186

结论 本文提出的混沌系统加密解密图像算法通过改变 混沌影射的初始值、参数值以及增加迭代次数来增加混沌系 统的复杂性,而且实际实现图像加密时,增加了破解加密图像 的计算复杂度,从而保证了图像信息的保密性,设计简单且容 易实现,计算量少,解密加密图像可以完全还原。计算机模拟 结果表明该算法确实可行。

虽然本文只对一种类型的图像进行加密,但是很显然可 以对其它任意类型的图像进行加密,只需要选取适当的参数 即可。

参考文献

- 1 Yen J-C, Guo J-I. A new chaotic key-based design for image encryption and decryption. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2000, IV:49~52
- 2 Fridrich J. Image encryption based on chaotic maps. IEEE, 1997. 1105~1110
- 3 易开祥, 孙鑫, 石教英, 一种基于混沌序列的图像加密算法, 计算机 辅助设计与图形学报, 2000, 12(9); 672~676
- 4 孙鑫,易开祥,孙优贤、基于混沌系统的图像加密算法,计算机辅助 设计与图形学报,2002,14(2):136~139
- 5 Masud N, Aihara K. Cryptosystems With Discretized Chaotic Maps. IEEE Trans Circuit and Systems, 2002, 49(1):28~40
- 6 Yen J-C, Guo J-I. Efficient hierarchical chaotic image encryption alogorithm and its VLSI realistion. IEE proc. -vis Image Signal Process, 2000, 147(2):167~175

• 143 •