

一种整数编码的改进遗传算法

廖美英¹ 郭荷清² 张勇军³

(广州市信息中心, 广州 510030)

(华南理工大学计算机科学与工程学院, 广州 510640)

(华南理工大学电力学院, 广州 510640)

E-mail: 87112526@21cn.com

摘要 遗传算法作为一种优秀的寻优算法, 编码策略是其基础。因二进制编码和实数编码均存在一定的不足, 该文提出一种整数编码的最优化遗传算法。为了提高收敛效率和避免算法的早熟收敛, 该文采用了截断选择机制和混合杂交、邻近变异等操作算子, 并引入邻域搜索技术来提高算法的局部搜索能力。仿真计算表明了该算法具有令人满意的全局最优性能和统计稳定性。

关键词 遗传算法 整数编码 邻域搜索 最优化

文章编号 1002-8331-(2003)01-0103-03 文献标识码 A 中图分类号 TP301.6

An Ameliorative Integer Coded Genetic Algorithm

Liao Meiyang¹ Guo Heqing² Zhang Yongjun³

(Guangzhou Information Centre, Guangzhou 510030)

(College of Computer Science and Engineering,

South China University of Technology, Guangzhou 510640)

(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

Abstract: As an excellent algorithm genetic algorithm is based on its encoding strategy. This paper presents an ameliorative genetic algorithm based on integer encoding strategy for optimization problems because of the shortages of binary encoding and real encoding. Truncation selection mechanism, hybrid cross and adjacent mutation operators are employed to heighten the convergence efficiency and prevent premature convergence of GA in this paper. Neighbour search technique is introduced to improve the local search capability. The proposed algorithm is proved to have satisfying global optimization performance and statistics stability by the emulation computation.

Keywords: GA, integer encoding, neighbour search, optimization

1 引言

遗传算法是一种基于自然法则的自适应启发式群体模型概率性迭代式全局收敛算法^[1], 它根据当前解和一些随机信息来产生新解, 对需要全局优化和函数难以进行解析处理的问题, 遗传算法中的随机过程使得对解空间更广泛的搜索成为可能, 显示出遗传算法的优越性。由于遗传算法求解问题一般不是直接作用在问题的解空间上, 而是利用解的某种编码方式来表示, 因此选择一种合适的编码方式对算法的性能和效率意义重大。遗传算法的编码策略主要包括至今仍在争论的两派: 一派根据模式定理建议用尽量少的符号编码(如二进制编码^[2]), 另一派则以数值优化计算的方便和精度为由采用一个基因一个参数的方法(如实数编码^[3]), 并把相应的基因操作改造成适合实数操作的方式。采用二进制编码操作直观, 适合于处理最优化问题离散型的决策变量, 但在连续型问题中易引起精度和效率的矛盾, 从而造成了计算量迅速增加; 海明悬崖(Hamming cliffs)则影响了算法的收敛效率。而采用实数编码, 不仅提高解的精度和运算速度, 特别是在搜索空间较大时更为明显, 避免编码中带来的附加问题, 如海明悬崖等; 也便于和其它搜索技术结合^[4], 因此在实践中采用实数编码来求解问题的情况越来越

越多。文献[4]认为针对标准交换和变异操作, 二进制编码的搜索能力比十进制编码强, 但十进制编码对于变异操作的种群稳定性比二进制编码好。

现实中有许多这样的最优化问题, 其决策变量是离散型的, 或者虽然是连续型的但适当离散化处理后对解的精确程度影响甚小的。对于变量离散型的问题, 采用实数编码的GA得到的最优解必须离散化归整处理, 结果往往不再是全局最优, 对于多约束的优化问题甚至会产生不可行解。为此, 该文提出了一种基于整数编码的改进遗传算法及其相应的操作算子。整数编码将兼具二进制编码和实数编码的长处, 具有很好的全局收敛性能。

整数编码、截断选择(truncation selection)、混合杂交、邻近变异和邻域搜索是这一算法的主要特点。文章在介绍该算法之后, 讨论了该算法的收敛性能。通过算例的计算结果表明, 所提算法取得令人满意的全局最优性和收敛速度。

2 算法介绍

整数编码也是采用一个基因一个参数来编码, 将原问题的解空间映射到整数串空间上, 然后在整数串空间上进行遗传操

作,结果再通过解码过程还原成其表现型以进行适应度评估。与实数编码不同的是,其每一位基因是一个十进制整数,遗传操作并不直接作用于解空间上,更加符合遗传计算的规则,特别适合于离散变量的问题。与二进制编码相比较,整数编码码串长度显著下降,解码过程也简单很多。考虑到许多最优化问题中各决策变量的取值范围往往不一致,则可以对不同取值范围的变量进行分组编码,使任何一个解都由若干条包含信息不同的染色体构成,形如

$$X=\begin{cases} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_m \\ b_0 & b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ c_0 & c_1 & c_2 & \dots & c_p \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{cases} \quad (1)$$

式中 X 为群体中的一个个体, a, b, c 等为不同类型变量的子码串, m, n, p 分别为相应子码串的维数。从而所有的操作均在各子码串上分别进行。若问题含有离散型变量和连续型变量,必要时可以通过分组编码策略将整数编码扩充成整数-实数混合编码,当然将连续型变量离散化一般也是可以的。

整数编码的另一优点是能避免二进制编码产生的不可行解:比如某离散变量有 9 种取值,采用二进制编码需要 4 位码(能表示 16 种解),则造成 7 种码串无效。整数编码则以 0~8 表示该变量,杂交、变异、重组和倒位等操作算子均可以使该基因在 0~8 的范围内取值,不产生无效解。为了发挥整数编码的优势,所提算法采用以下手段:

2.1 截断选择

截断选择机制是指在群体中选择 $k\%$ 的优秀个体作为父体,然后均匀随机地对它们进行杂交和变异,直到子代个数达到群体规模。这种选择是一种人工选择,并对应于遗传策略中使用的 $(\mu+\lambda)$ -选择^[5]。显然截断选择机制比转盘式选择^[5]机制具有更高的选择强度,更能充分利用群体内当前所具有的有效信息。另外这种选择机制也适合于求最小值或者最大值的优化问题,可以直接将目标函数作为适应度函数,而无须担心由于适应度函数的定标问题而影响遗传算法的性能。而转盘式选择机制的选择概率与各候选解的适应度成比例,体现了优胜劣汰的思想,适合于优化目标为求最大值的寻优。但当群体中各个体的适应度相差不大时,其优胜劣汰的能力不强,收敛性受到影响,从而产生如何对适应度函数定标的问题^[6],使 GA 变得复杂而不直观。对于最小化问题还须要先将目标函数修改成求最大值的适应度函数。

2.2 混合杂交

该文采用的混合杂交算子源于 0-1 编码中的一点杂交算子^[6],即在个体串中随机产生一个杂交点 j ,该点前或后的两个个体的部分结构进行互换以生成两个新个体。为了扩大搜索范围,提高跳出局部最优的能力,按一定的概率 p_h 和 $(1-p_h)$ 分别进行头-头交叉和头-尾交叉。设两个父体为(以单染色体的情况为例)

$$A=(a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_j \ a_{j+1} \ \dots \ a_m)$$

和

$$B=(b_0 \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_j \ b_{j+1} \ \dots \ b_m),$$

则产生两个子代个体 A' 和 B' ,如下式所示:

$$A'=\begin{cases} (a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_j \ b_{j+1} \ \dots \ b_m), & \text{当 } r < p_h \\ (b_{j+1} \ \dots \ b_m \ a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_j), & \text{当 } r \geq p_h \end{cases} \quad (2)$$

和

$$B'=\begin{cases} (b_0 \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_j \ a_{j+1} \ \dots \ a_m), & \text{当 } r < p_h \\ (a_{j+1} \ \dots \ a_m \ b_0 \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_j), & \text{当 } r \geq p_h \end{cases} \quad (3)$$

式中 r 为 0~1 之间的随机数。显然这种杂交方式有助于防止群体基因缺失^[7]而造成算法早熟收敛。

2.3 邻近变异

该文提出了邻近变异操作算子:在整数码串中随机地确定基因座,以事先设定的变异概率 P_m 来对这些基因座的基因值进行随机加 1 或减 1 的变异方法,如果该基因值为最小值或者为该基因座的最大值,则分别只进行加 1 和减 1 的操作。

$$b_k'=\begin{cases} b_k+1, & \text{当 } (b_{kmin} < b_k < b_{kmax} \text{ 且 } r < 0.5) \\ \text{或 } b_k=b_{kmin} \\ b_k-1, & \text{当 } (b_{kmin} < b_k < b_{kmax} \text{ 且 } r \geq 0.5) \\ \text{或 } b_k=b_{kmax} \end{cases} \quad (4)$$

式中 b_k 和 b_k' 分别为某位基因变异前后的值,下标 max 和 min 分别为基因值的上下限。二进制编码的变异是简单的取反操作,结果经常因为海明悬崖的问题使决策变量突变太大而影响了 GA 的局部搜索能力。邻近变异算子能避免海明悬崖的影响,既简单又有效。

2.4 邻域搜索

在进化过程停滞若干代及遗传迭代结束后,对当代最优解实施邻域搜索:对所有决策变量依次进行加 1、减 1,然后判断适应度是否有所提高,若提高则取代原解作为最优解。这种手段对局部搜索能力稍差的 GA 有较好的改善作用。

为了避免 GA 在杂交、变异等操作过程中出现退化问题,采用了最佳个体保存策略,当经过群体更新后若产生退化问题时将上一代的最佳个体取代新一代最差的 1~2 个个体。算法基本结构如下:

```
{
    gen=0;          /* 代数置初值 */
    initialize();    /* 初始化、生成初始群体 */
    statistics();    /* 群体适应度统计 */
    do{
        gen++;
        generation(); /* 群体更新,选择、杂交、变异 */
        statistics();
        reserve();    /* 最佳个体保存 */
        if( ... )locality(); /* 进行邻域搜索 */
    }while( gen<maxgen );
    locality();
    output();        /* 输出最后寻优结果 */
}
```

3 算法性能

文献[5]中给出了许多用来测试遗传算法的测试函数,该文选择了两个多极值函数为算例,分别是

$$\min F_7: f(x)=-\sum_{i=1}^n x_i \sin(\sqrt{|x_i|}), \quad -500 \leq x_i \leq 500$$

$$\max F_9: f(x)=0.5-\frac{(\sin^2 \sqrt{x_1^2+x_2^2}-0.5)}{[1+0.001(x_1^2+x_2^2)]^2}$$

其中 F_7 是由 H.P.Schwefel 提出的,其全局最小点是 $x_i=420.9687 \ i=1, 2, \dots, n$ (图 1、2 中取维数 $n=10$),并具有许多远离全局最小点的局部极小点,故搜索极易陷入错误的区域中。 F_9 则是由 J.D.Schaffer 提出的,其全局最大点是(0,0),并被次

优点所包围,具有强烈的振荡性质,有很强的欺骗性。

该文采用了二进制编码、实数编码和整数编码的遗传算法分别计算上述函数以进行比较。在二进制编码的遗传算法中,采用了转盘式选择、混合杂交和按位取反变异算子;在实数编码的算法中采用了截断选择、部分重组和均匀变异算子[5]。

在评价算法性能时常采用在线性能和离线性能两项指标:设 $X(S, t)$ 为在策略 S 下遗传算法在第 t 代时的在线性能, $f(g)$ 为第 g 代的平均适应度函数,则在线性能可表示为

$$X(S, t) = \frac{1}{t} \sum_{g=1}^t f(g) \tag{5}$$

设 $X^*(S, t)$ 为在策略 S 下遗传算法在第 t 代时的离线性能, $f^*(g)$ 为第 g 代的最佳适应度函数,则离线性能可表示为

$$X^*(S, t) = \frac{1}{t} \sum_{g=1}^t f^*(g) \tag{6}$$

在线性能和离线性能分别表示了算法的收敛性能和趋向性能。三种算法的性能比较如图 1~图 4 所示。图中表注 1 为整数编码,2 为二进制编码,3 为实数编码。

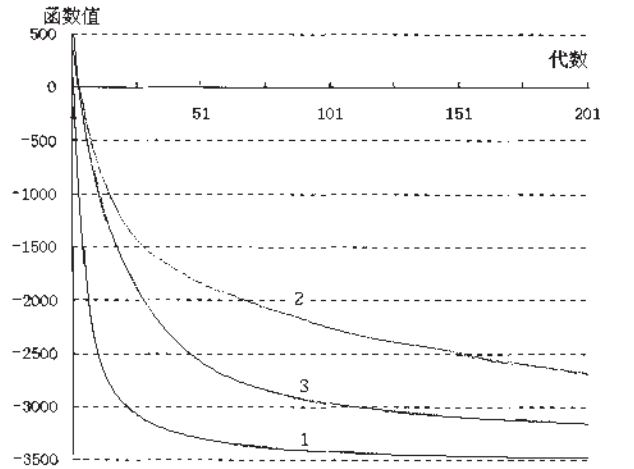


图 1 F7 函数在线性能比较

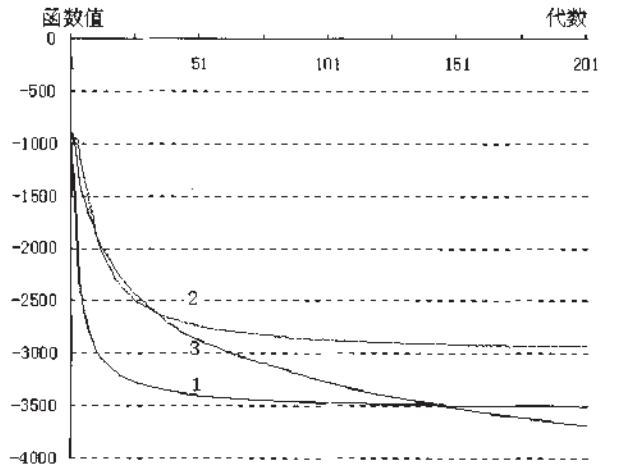


图 2 F7 函数离线性能比较

对 F_7 求最小值和 F_9 求最大值这两个典型问题中,这 4 个图显示出共同的特点:整数编码收敛速度最快(分别在 50 代和 20 代左右便稳定于全局最优附近);实数编码收敛速度次之,但其趋向性能最好;二进制编码两方面性能均较差。

为研究算法的统计稳定性,表 1 给出了本文算法和文献[5][8]对 F_7 函数多次采样计算情况对比。文献[5]采用的是实

数编码的 AEA 算法,文献[8]采用的是二进制编码的 BGA 算法。以

$$|F^* - F^{best}| < 0.0001 |F^*| \tag{7}$$

为收敛判据计算函数值的求解次数,式中 F^* 表示全局最优解, F^{best} 为当代最优解。群体规模均取 20。

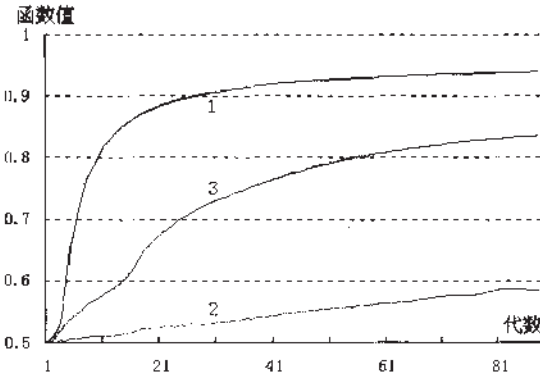


图 3 F9 函数在线性能比较

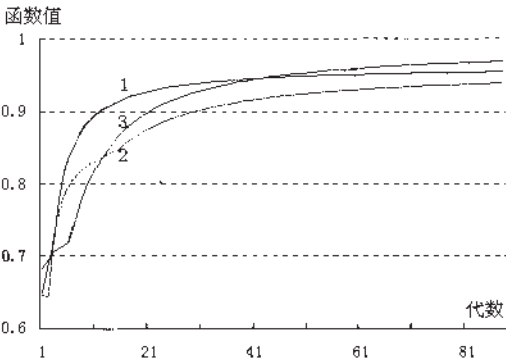


图 4 F9 函数离线性能比较

表 1 三种算法对测试函数 F_7 收敛时函数值平均求解次数的对比

维数 n	本文算法	AEA	BGA
20	1380	1603	16100
100	6444	5106	92000
200	12045	8156	248000

从表 1 可以看出,当维数较小时,整数编码最先获得全局最优,随着维数增大,整数编码虽然比实数编码稍差,但是比二进制编码仍具有绝对的优势。而且文献[5]认为其算法性能好的原因之一是与测试函数全局最优点的各分量取值一致有关。另外该文算法还被应用在电力系统电压无功优化控制这种多约束、多极值、非线性、离散型的组合最优化问题中,并获得很好的效果,与相关文献比较也显示出收敛速度和收敛质量上是优势,限于篇幅,不再赘述。

4 结论

标准遗传算法有容易陷入局部最优和收敛速度慢等缺点。该文提出了一种改进的遗传算法,特点是采用整数编码策略、截断选择机制,以及邻近变异、混合杂交等操作算子,并在遗传操作迭代过程中以及迭代结束后,实施邻域搜索来进一步挖掘最优解。通过仿真计算结果表明:

(1) 该文所提的改进遗传算法能够摆脱局部最优并迅速地收敛到全局最优。

3.3 音频界面

语言是人类交流信息最直接最方便的形式,而人类从外部世界获取信息的约 10%是从听觉获得的。在多媒体设计中加入适当音频界面,可以使用户更易使用。在多媒体应用中,音频信息经常伴随着视频信息出现,两者相互补充形成一个完整的系统。但是,音频的使用不一定总能带来好的效果,例如:音频使用过多会使用户厌倦,音频与视频搭配不合适会影响用户对信息的理解;使用音频表达机密信息可能会导致机密外泄等等。因此,音频界面的可用性设计对多媒体产品而言也非常重要。下面分别介绍一下语音的输入设计和输出设计。

3.3.1 语音输入

语音输入主要涉及到语音识别,语音识别技术的好坏直接影响到音频输入的效果。目前,语音识别还存在不少困难,比如说,语音识别系统的适应性差,主要体现在对环境依赖性强,高噪声环境下语音识别较困难等。语音识别系统的最终目标是实现大词汇量、非特定人、连续自然语音的识别。目前,语音识别还没有完全实现这一目标,音频输入主要是使用简单语言,所以,在设计时要仔细考虑哪些任务成份和用户界面可以用声音界面实现。

在语音输入设计过程中,要遵循一定的指导方针。首先,为提高识别准确性,应尽可能使用简短清晰的语言,而且,输入语言尽量由发音不同的单词构成。其次,用户在输入过程中应可以控制语音的启停,能退回到更习惯的输入方式,能停止或取消不正确的输入操作。同时,系统要提供反馈信息,让用户了解系统对语音输入信息的解释。如果可能,在发送输入信息前,允许用户修改出现的错误。如果多媒体产品要面向不同语言的用户群,系统要提供语言选择功能,让用户选择交互语言。

3.3.2 语音输出

与正文描述相比,语音具有声调、语气以及音调差别的特点,因此更容易理解。语音可以强调、补充或解释屏幕上的文字和图片。还可以作为提示用户输入、提供输入指导、解释屏幕显示的一种方式。语音输出也要考虑时间因素,在没有任何中断出现时,应限制在 45 秒左右,当然,为避免用户产生突兀的感觉,输出语音至少要由 3、4 句话组成。不同内容可以用不同的声音,这样用户就能在语音交互中轻松分辨出不同的信息。与合成语音相比,用户更喜欢也能更好理解模拟或数字化复制的

语音,所以,可使用人类语音的录音。

与视频相比,语音输出的优势在于^[4]:用户对用音频发布的紧急信息能更快做出反应;使用音频输出,用户可以不必总待在屏幕旁边;在视频效果被削弱或消失时,可使用音频输出,比如,对盲人或弱视用户来说,音频界面更加实用。当然音频输出也有不利之处,如使得使用环境太嘈杂、获得信息的速度慢等等^[5]。所以在使用音频输出时要综合考虑各种因素。

4 结论

多媒体可用性设计指南是以用户为中心的设计方法的组成部分,它关注的是产品的可用性,即有效性、效率和用户满意度。使用设计指南的目的是为了帮助设计人员避免出现明显违背人类因素学原则的问题,提高多媒体产品的可用性质量。当然,仅仅使用可用性设计指南并不能保证产品一定具有高可用性,只有与贯穿产品整个生命周期的以用户为中心的设计方法论相结合,在运用设计指南的同时运用其他的可用性工程方法,例如,让用户参与可行性研究、需求定义、设计等产品开发的各个环节,及时获得用户反馈信息,根据与用户的充分交互来不断改进设计,只有这样,才能使多媒体产品的可用性质量得到保证。

致谢:该文工作得到欧盟第五框架研发计划/中国-欧盟科技合作计划(IST-1999-29067)支持,还获得南京大学软件新技术国家重点实验室开放课题基金(A2001-07)支持。

(收稿日期 2002 年 1 月)

参考文献

1.Jacob Nielsen.Usability Engineering[M].Academic Press ,1993
2.Sanders M S ,McCormick E J.Human Factors in Engineering and Design[M].Seventh edition ,Singapore :McGraw-Hill Inc ,1992
3.Clarke A M.Human Factors Guidelines for Multimedia[M].RACE project 1065 ISSUE ,The Elms ,Elms Grove ,Loughborough ,Leics :HUSAT Research Institute ,Loughborough University ,1992
4.Tucker P ,Jones D M.Voice as interface :an overview[J].International Journal of Human-Computer Interaction ,1991 ,3(2)
5.Schmandt C.From desktop audio to mobile access :opportunities for voice in computing ,Advances in human-computer interaction ,Ablex : Vol4 ,1993

(上接 105 页)

(2)整数编码比起二进制编码,无论是收敛速度、全局性能,还是算法的稳定性均显示出明显的优势,且避免了无效解的产生。

(3)与实数编码相比,性能各有千秋,而在变量离散型的最优化问题中则能避免最优解的不可行问题。

(4)当最优化问题需要非常高的计算精度时,整数编码将会受计算机整数表示范围的限制。(收稿日期 2001 年 11 月)

参考文献

1.恽为民,席裕庚.遗传算法的全局收敛性和计算效率分析[J].控制理论与应用,1996,13(4):455-460

2.杨启文,蒋静坪,曲朝霞等.应用逻辑操作改善遗传算法性能[J].控制与决策,2000,15(4):510-512
3.林丹,李敏强,寇纪淞.基于实数编码的遗传算法的收敛性研究[J].计算机研究与发展,2000,37(11):1321~1327
4.张晓绩,方浩,戴冠中.遗传算法的编码机制研究[J].信息与控制,1997,26(2):134~139
5.潘正君,康立山,陈毓屏.遗传计算[M].北京:清华大学出版社,1998
6.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
7.田夫汉,周春光,田力汉.遗传算法中基因缺失的预防[J].小型微型计算机系统,2000,21(9):947~949
8.Muhlenbein H ,Schlierkamp-Vose D.Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm[J].Evolutionary Computation ,1993,1(1):25~49