

# 一种基于遗传算法的自动生成创意曲动机的方法

杜 鹏, 周昌乐, 贺志强

(厦门大学 软件学院, 福建 厦门 361005)

**摘 要:** 遗传算法作曲就是利用遗传算法来实现乐曲的生成, 在创作的过程中遗传算法按照事先给定的规则进行进化, 从而使得人在计算机创作的过程中介入程度达到最小。动机是巴赫创意曲中的核心旋律和主题, 文中采用遗传算法对创意曲中动机的自动生成进行了探讨。介绍了遗传算法创作动机的基本过程, 即按照动机创作的音乐知识规则来设置适应度函数, 采用遗传算法中的选择、交叉和变异算子产生动机片段, 最终达到生成自动生成动机片段的效果。

**关键词:** 遗传算法; 动机; 适应度函数

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1673- 629X(2007)04- 0150- 04

## An Auto Composing Method for Motive of Inventions Based on Genetic Algorithm

DU Peng, ZHOU Chang le, HE Zhi-qiang

(Software School of Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Genetic algorithmic composition basically refers to using genetic algorithm to compose the melody. The genetic algorithm evolved based on the rules to create music with minimal human intervention. Motive is the core and the theme of the Bach's inventions. Uses the genetic algorithm to do some research on auto composing the motive of inventions. Introduced the basic process of composing motive using genetic algorithm. Namely, setting the fitness function based on the rules of the music knowledge of the motive composing, used the selection, crossover and mutation operators to produce the motive segment. Finally, the motive segment can be auto composed.

**Key words:** genetic algorithm; motive; fitness function

### 0 引言

遗传算法是 20 世纪 80 年代发展起来的一种随机全局优化算法, 是基于达尔文生物进化论的自然选择学说和群体遗传学原理创建的<sup>[1]</sup>。它主要由选择、交叉和变异三种算子组成, 分别模仿了达尔文进化过程中的自然选择过程和群体遗传过程中发生的交配和基因突变等现象。与传统的算法不同, 大多数古典的优化算法是基于单一的度量函数的梯度或较高次统计, 以产生一个确定性的试验解序列; 遗传算法不依赖于梯度信息, 而是通过模拟自然进化过程来搜索最优解, 它利用某种编码技术作用于称为染色体的数字串, 模拟由这些串组成的群体的进化过程。遗传算法通过有组织的、随机的信息交换来重新组合那些适应性好的串, 生成新的串的群体。遗传算法作为一种实用、高效、鲁棒性强的优化技术在形式上简单明了, 与其它方

法相结合也很方便。这些优点启发人们可以将遗传算法应用到乐曲的创作之上。遗传算法作曲就是利用遗传算法来实现乐曲生成的过程, 在创作的过程中遗传算法按照事先给定的规则进行进化, 从而使得人在计算机创作的过程中介入程度达到最小<sup>[2]</sup>。

文中以巴赫二声部创意曲为对象, 采用遗传算法对创意曲中动机的生成进行了探索, 最终达到生成自动生成动机片段的效果。

### 1 动机及遗传算法创作模式

#### 1.1 创意曲及其动机

巴赫在克腾任宫廷乐队乐正的 1702 年, 为当时不到 10 岁的长子符利曼写作键盘教材, 《为符利曼·巴赫的古钢琴小曲集》里包括《平均律钢琴曲集》11 首和《创意曲》全部, 这套《创意曲》是为儿子的音乐教育而作, 这部作品的二声部, 由巴赫命名为 *Inventio*, 即创意曲。创意乃创造之意, 即利用一个乐思产生的动机或主题, 使用各种技巧使之发展, 包括逆向形、扩大形、缩小形。或用卡农的方式, 使之创造出一个生机盎然的

收稿日期: 2006- 07- 07

作者简介: 杜 鹏(1981- ), 男, 湖北人, 硕士研究生, 研究方向为算法作曲、人工智能; 周昌乐, 博士, 教授, 博导, CCF 高级会员, 研究方向为计算语言学、神经动力学、计算机艺术(包括诗歌谱曲)。

音乐世界。

这里的动机或者主题便是创意曲最重要的核心片段——动机。动机是有意识地准备把它作为(并用于)复调乐曲发展,构成(或创作——“创意”)的基础和原型的一个简短旋律句子。它是结构上的“主题”(“theme”);动机至少一个小节长,两个或三个音型的组合,并多少带有不确定的终止印象;写作动机,最重要的规则,是它最初的音或最初的一些音,须明白无误地具有主和弦印象。这个片段是整个创意曲的核心<sup>[3]</sup>。

## 1.2 遗传算法创作模式

在使用遗传算法进行音乐创作的工作中,主要是如何构造适应函数来评估及选择系统生成的旋律问题。遗传算法中状态空间的解被描述为染色体的种群。搜索由再生操作和一个选择过程所控制。而音乐领域知识可存放在:

- \* 染色体中:音乐信息(即音高、音程、时值、音长)被描述在染色体中;

- \* 选择过程:适应函数判断每个染色体的适应度并决定染色体的再生机会;

- \* 再生操作:搜索控制知识嵌入于再生操作中。使用这些再生操作可保证所有状态空间的点均可搜索得到。

这样又由于动机的创作是存在一定的规则限制的,那么以一段随机的音乐片段作为初始种群就可使用遗传算法按照这些规则进行进化,从而得到新的符合动机规则的音乐片段<sup>[4]</sup>。

## 2 遗传算法的创作动机的过程

遗传算法是一种概率搜索算法,它是利用某种编码技术作用于称为染色体的数串,其基本思想是模拟由这些组成的进化过程。该算法通过有组织的然而随机的信息交换重新组合那些适应性好的串,在每一代中,利用上一代串结构中适应好的位和段来生成一个新的串的群体,视为交叉;作为额外,偶尔也要在串结构中尝试用新的位和段来替代原来的部分,视为变异。

遗传算法是一类随机化算法,但是它不是简单的随机走动,它可以有效地利用已经有的信息处理来搜索那些有希望改善解质量的串,类似于自然进化,遗传算法通过作用于染色体上的基因,寻找好的染色体来求解问题。与自然界相似,遗传算法对待求解问题本身一无所知,它所需要的仅是对算法所产生的每个染色体进行评价,得出其适应度,并基于适应度值来筛选染色体,使适用性好的染色体比适应性差的染色体有

更多的繁殖机会。因此在使用遗传算法创作动机片段时,采用如图1所示的流程<sup>[5]</sup>。

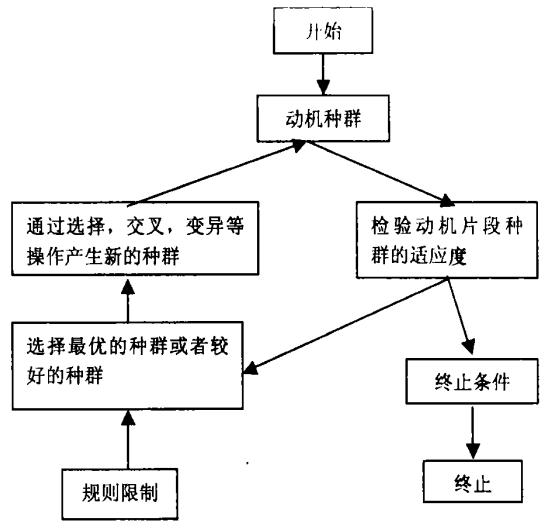


图1 遗传算法创作动机的流程图

### 2.1 遗传算法作曲中音乐知识的表示

由于在遗传算法中将音乐信息描述在染色体中,因此需要采用适当的方式来表示这些音乐知识。音乐中音高是通过音列的范围来表现的,而不同的八度音阶则可以以不同的整数相区别,音程和拍子的间隔也可以用整数来表现。由于在旋律中音程和谐性的重要,在选取音符时可能会出现不和谐音,这时需要用适应度函数将其加以剔除。这样音符的染色体就能够用这样一组整数来进行表示。

### 2.2 遗传算法创作动机的适应度函数

根据染色体的特征信息和动机创作的基本规则,将给予赋予不同的权值来得到适应度函数。下面将讨论这些特征和规则:

- 1) 大的音程。由于染色体的初始化是随机的,所以可能在连续的音符之间存在较大的音程,这显然是不适合的。适应度函数需要解决这一问题,可以通过设置音符间取值范围和音符间的最大间距来解决。当音程过大时该位置音符的个体适应度值会赋予一个很低的值。

- 2) 和谐音程。我们希望得到的音符之间的音程是和谐的,这是很重要的一个特征。如果得到的音符能够满足这个要求,那么得到的音符听起来整体效果应该是和谐的。适应度函数要能够根据音程的不同给出不同个体的适应度值,使得算法在进行进化时能够把适应度高也就是满足和谐音程的个体挑选出来。这里给一个种群中相邻的音符之间音程赋予不同的权值,满足和谐音程的个体权值为正,反之为负<sup>[6]</sup>。

- 3) 主和弦印象。对于动机片段来说音符简单地做到和谐音程还是不足的,根据动机的创作原则,它需要

能够体现主和弦印象。由于在一个小节中处于强拍和次强拍的音符是最有意义的音符。因此用在强拍位置的音符来体现主和弦印象。在保证相邻间音符都是和谐的基础上若处于强拍位置的音符能够满足主和弦构成的音程要求,那么适应度函数给其赋一个正的权值,反之则赋予负值<sup>[6]</sup>。

4) 禁止音符 F 和 A 在动机的首尾出现。由于在一个音阶中 F 和 A 这两个音被称为不稳定音,根据动机创作的原则它们是不能被放在动机的首尾的,因此适应度函数需要特别给予首尾音符赋予不同的权值,若首尾音正好是其中之一,则赋予其负的权值。

下面是一个根据上述规则得到的适应度函数:

$$f_1 = - \sum_i^k (v_i) \tag{1}$$

$$f_2 = - \sum_i^k (u_i) \tag{2}$$

$$v_i = \begin{cases} 1, & x_{i+1} - x_i = 0, 3, 4, 7, 10, 11 \\ 0, & x_{i+1} - x_i = 2, 5, 9, 12 \end{cases} \tag{3}$$

$$u_i = \begin{cases} -1, & x_{2i} - x_{2i-1} = 1, 6, 8, 14 \\ 1, & x_{2i} - x_{2i-1} = 0, 3, 4, 7, 10, 11 \\ 0, & x_{2i} - x_{2i-1} = 2, 5, 9, 12 \\ -1, & x_{2i} - x_{2i-1} = 1, 6, 8, 14 \end{cases} \tag{4}$$

$$1 \leq x_i \leq 14 \tag{5}$$

$$x_1 \neq 4, 7 \tag{6}$$

$$x_k \neq 4, 7 \tag{7}$$

根据上中的函数要得到的音符实际上就是要找到满足函数 $f_1$ 与 $f_2$ 的均为最小值的个体构成的种群。其中表达式(3)到(7)对应了适应度函数所需满足的各项规则。

### 2.3 遗传算法创作动机的操作

算法在运行时首先将选择,这里笔者将采用机器随机地生成一组音符作为初始种群,那么在机器选定了初始种群以后算法将对编码后的乐曲进行选择、交叉和变异操作。

\* 选择操作,又称复制,是在群体中选择生命力强的个体产生新的群体的过程。遗传算法使用选择算子来对群体中的个体进行优胜劣汰操作。这里用随机均匀分布函数来进行选择,该函数布局在一条线上,每一父辈根据其刻度值按比率对应线上的一部分,算法以相同大小的步长沿线移动。在每一步,算法根据降落的位置确定一父辈。

\* 交叉操作。遗传算法利用交叉操作来组合两个个体或双亲,为下一代形成一交叉的子个体。由于乐曲片段的小节性,为了保证音符整体的连贯性,采用单点交叉的方法,将适应度高的染色体选入下一轮的

种群中。

\* 变异操作。遗传算法利用变异算子来达到改善遗传算法的局部搜索能力和维持种群多样性的要求。而在创作动机的过程中,变异算子则能够使动机朝着更多边、和谐的方向发展。这里的变异主要是对单个音符的变异,随机选择一个音符用一个新的音符来代替,或者直接将其换成一个稍高或是稍低的音符。

### 2.4 动机创作的算法终止条件

在设计遗传算法创作动机时,文中采用的是基于作曲的音乐知识来制定规则,以使得生成的乐曲能够符合创作者的审美需求。因此将从以下几个方面来设置算法的终止条件:

\* Generations: 指明算法的最大重复执行次数。

\* Stall generations: 如果适应度值在“Stall generations”指明的代数没有改进,则算法停止。

\* Stall time: 如果最好适应度值在“Stall time”时间间隔内没有改进,则算法终止。

## 3 算法的实现效果与分析

下面是一个例子,算法在随机初始化一个种群后,经过选择、交叉、变异等操作,在适应度函数的操作下最终得到一组不错的动机片段。图 2 是算法停止运行的水平条件,当算法收敛时并没有达到设置的最大代数,而是因为适应度值在“Stall generations”指明的代数没有改进,故算法停止了。因此,可看出算法的收敛的速度和效果是不错的。

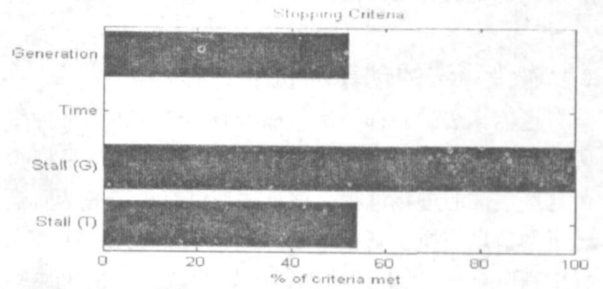


图 2 停止水平条件

在将随机生成的乐曲种群经过二进制编码后,采用单点交叉的交叉方法,通过选择、变异单个音符,得到了一组动机片段,其五线谱如图 3~ 5 所示。分析这三段动机乐谱,以图 3 为例进行分析,其所示的动机它的主和弦印象是非常明显的,第一个小节是 E, G, G 这三个音,第二个小节则是 A, F, D, 它们能够构成本小节内强有力的和弦印象。虽然在这个小节中也有出现相邻悬留音,也就是不和谐的音程,但是很快这个音程就被解决到了和谐的轨道上。比如第一小节中的  $E \rightarrow A \rightarrow G \rightarrow E$ , 虽然前一个音程相对是不和谐的,但是它并

不破坏整体的和弦和谐效果, 因为 G 后也迅速解决了 E 音。整体来看图 3 这个片段, 它的首尾并没有出现 A 或 B 音, 在音的跨度上也没有超过规则的限定, 因此这个小节的片段还是很好地满足了创作规则的要求。同样经过分析图 4、5 所示的片段也可发现相同的效果, 所以这几个片段都具有较高的适应度值。



图 3 动机片段一



图 4 动机片段二



图 5 动机片段三

### 4 结束语

通过对遗传算法创作动机的研究可以发现, 遗传算法对动机创作的应用是可行的。应用遗传算法实现乐曲的效果是取决于创作中音乐知识的表示的, 也就是规则的设立以及适应度函数的选取。如果规则制定的越精细, 那么得到的乐曲也就会越精确。但是在用

遗传算法创作动机时仍然存在一定的局限性:

1) 遗传算法的编码存在不规范以及不准确性, 由于音乐信息的复杂性, 导致在对乐曲进行编码时, 很可能会出现编码不确切的现象。

2) 尽管算法是根据设定的音乐知识进行创作, 但由于动机创作的变化性, 有时并不完全拘泥于规则, 故完全按照设定的规则进行创作的结果有时会略显单调呆板。

3) 由于遗传算法是一个启发式的搜索算法, 因此它不一定能够找到最优解。

尽管利用遗传算法创作动机片段仍然存在上述不足, 但它仍是对机器作曲进行的有益的尝试, 而且还存在很大的发展空间, 特别是怎样将情感信息加入到算法创作动机的过程中, 仍然需要进行进一步的探索。

### 参考文献:

[1] 陈 明. 基于遗传算法的优化计算[J]. 软件学报, 1998, 9 (11): 876- 879.  
 [2] 周昌乐. 心脑计算举要[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.  
 [3] 柏西·该丘斯. 应用对位法(上卷) 创意曲[M]. 北京: 人民音乐出版社, 1986.  
 [4] 冯 寅, 周昌乐. 算法作曲的研究进展[J]. 软件学报, 2005, 16(6): 209- 215.  
 [5] 张英刚, 刘 弘, 李少辉. 遗传算法在作曲中的应用[J]. 计算机应用研究, 2005(11): 143- 145.  
 [6] 李重光. 音乐理论基础[M]. 北京: 人民音乐出版社, 1962.

(上接第 82 页)

表 1 开方结果表

被开方数	开方结果						
	1H	3H	212H	2487H	267E FFH	FDF7 EFH	FFFF FFFH
改进 N-L 算法	1H	1H	17H	60H	634H	3FBEH	FFFFH
手算开方算法	1H	1H	17H	60H	634H	3FBEH	FFFFH

表 2 开方耗时表

(单位: 以定时器计数值为单位)

被开方数	计算时间						
	1H	3H	212H	2487 H	267E FFH	FDF7 EFH	FFFF FFFH
改进 N-L 算法	3C9H	3FDH	81H	B5H	B0H	43H	3FH
手算开方算法	97H	97H	97H	97H	97H	97H	97FH

### 4 结束语

改进牛顿-拉夫逊算法和模拟手算开方算法各有优缺点。共同的优点是: 相对传统的牛顿-拉夫逊算法, 这两种算法在保证计算精度不变的前提下, 提高了计算的速度。不同的是: 改进牛顿-拉夫逊算法本身

的计算速度与开方数有关, 不易控制开方计算的时间, 但该算法用到的内存资源较少, 而模拟手算开方算法用到的内存资源较多, 但是算法的计算时间固定, 便于控制。根据不同的应用场合, 有针对性地选择合适的算法可以大幅度提高开方计算的速度。

### 参考文献:

[1] 王明芳, 汪 梅, 淮文军, 等. 基于 AT89S52 的便携式智能室内环保监控仪[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(6): 57- 59.  
 [2] 涂时亮, 姚志石. 单片机 MCS- 96/98 实用子程序[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1991.  
 [3] 彦庆津. 数值分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999.  
 [4] 丁元杰. 单片机原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.  
 [5] 潘琢金, 施国君. C8051Fxxx 高速 SOC 单片机单片机原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.