

浙江工业大学

本科毕业设计文献综述

(2017 届)



论文题目 基于遗传算法的音乐作曲演示
系统研究与实现

作者姓名 陈文帆

指导教师 盛伟国

学科(专业) 计自 1302

所在学院 计算机科学与技术学院

提交日期 2017 年 3 月

基于遗传算法的音乐作曲演示系统研究与实现

摘要：本文是关于“基于遗传算法的音乐作曲演示系统研究与实现”的一篇文献综述，首先对项目的由来及其研究意义进行一个简单的概述，然后详细介绍了国内外相关研究现状以及现阶段存在的技术关键及问题，最后对进化音乐进行总结，并对其未来的发展进行展望。

关键词：遗传算法，算法作曲，自动作曲，进化音乐

一、引言

随着计算机技术的发展，计算机与人工智能越来越多地应用到艺术创作活动中。这类技术，统称为计算机艺术，代表了计算机应用领域的一个真正的历史性突破，因为它第一次试图复制纯粹的、人类所独有的能力：创造力^[1]。通过设计人造创作代理，能够再现人类艺术家高品质的艺术作品。

算法作曲（algorithm composition）或称自动作曲（automated composition），是试图使用某种形式的过程，以使人类在利用计算机进行音乐创作时的介入程度达到最小的研究^[2]。无论东西方音乐，都有一定程度的形式化基础，且音乐的形式化过程由来已久^[3]：早在 11 世纪，就出现了一种根据经文中的元音设计音高的模型，这种形式化技术可以实现经文旋律的创作。

音乐创作的形式化技术在 20 世纪再一次被使用。奥地利作曲家 Arnold Schonberg 在 20 世纪初引入了音列技术。而后，Anton Webern 及其后继者们对此作了进一步的系列化。到了 20 世纪 50 年代初，Iannis Xenakis 利用随机过程手工生成了音乐片段。随后，Lejaren Hiller 作为现代算法作曲的先驱，最早将计算机应用于作曲中，并创造了最早的计算机作曲作品《ILLIAC 弦乐四重奏组曲》^[4]。随后，大批音乐家开始使用形式化程序来创作音乐。

目前，算法作曲这一领域采用的主要技术有马尔可夫链（Markov Chain）、随机过程、算法作曲研究中的知识库系统（专家系统）、音乐文法、人工神经网络技术和遗传算法^[5]。

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是一种启发式搜索算法，具有良好的普

适性和可规划性，且可高度并行。遗传算法作曲是利用遗传算法来控制音乐的生成过程。在作曲过程中首先对给定乐曲进行一定方式的编码，编码后的乐曲称为染色体，并采用遗传算法中的交叉、变异等算子对乐曲进行“进化”，用适应度函数来衡量进化结果，如此不断进行直到找到最终的满意解为止^[6]。

由于遗传算法的简单通用、易于实现，遗传算法作曲（又称进化作曲），在算法作曲领域得到越来越普遍的应用，并在旋律动机生成、旋律发展和弦配置等方面取得了较为丰富的成果。

二、研究意义

算法作曲是计算机艺术最重要的领域之一，最近的科学研究旨在通过人工智能的方法来复制人类创造性的艺术创作。面对该挑战，人们使用过各种技术，如前文提到的：马尔可夫链、遗传算法、神经网络等。

由于遗传算法评估和演化给定音乐作品片段的能力，进化音乐在算法作曲方面扮演着越来越重要的角色。然而，由于以下两个关键问题^[1]，基于遗传算法的自动音乐作曲距离完善依旧很遥远：

- 1) 人为的再现人类作曲家的天才与能力是一项巨大的挑战；
- 2) 对于自动生成的旋律的美学评估很难给出一个正式的准则。

本课题，将首先研究前人在进化音乐作曲方面所做的努力，在此基础上，基于遗传算法，实现一个基础的、可扩展的进化音乐作曲系统，并在未来，扩展该系统，提高其能力，以求能够处理不同的音乐作曲技术和美学进化算法，使之成为进化音乐领域较为完善的方法。

三、国内外研究现状及难点

经过半个多世纪，伴随着科学技术的发展，算法作曲已经取得了不俗的成绩。算法作曲的各阶段，均有适应当时科研水平的作曲系统产生。单以进化作曲系统而言，在过去的几十年间就出现过数个成熟的作曲系统。

1) Horner 与其计算机辅助作曲程序

Horner 最早将遗传算法应用到计算机作曲中，实现了一个简单的计算机辅助作曲程序^[7]。该程序能够完成主题桥接，从一个原始音乐动机出发，经过一系列的变换（桥），最终生成目标动机。

系统中定义的变换包括删除音符、旋转、突变、交换等操作，从原始动机到目标动机所经历过的变换操作的集合就是桥。系统的适应度分两步计算，首先衡量经过桥变换后的动机与目标动机的匹配度，这个匹配度既考虑相同音符的比例，也考虑音符顺序的匹配程度；然后进一步计算适应度，考虑音符长度的匹配程度，如果长度也是精确匹配，个体的适应度将达到最大值。

Horner 辅助作曲系统实现了一个卡农式的五声部轮唱主题的生成，在给定原始动机下，各个声部独立进行进化，最终输出经过桥接的音乐序列。

2) Prusco 与其十二音体系作曲系统

Prusco 利用遗传算法实现了 1 个基于十二音作曲体系的乐曲创作^[8]。十二音体系是 Arnold Schonberg 创立的无调性音乐体系^[9]。在这种作曲方法中，1 个八度里的所有 12 个半音（C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, B）是平等的，在一个音出现以后，其他 11 个半音出现之前，该音不能重复使用，以免形成调性中心。十二音作曲法中，首先要有 1 个 12 个半音组成的 1 个音列，称之为种子序列或原形 O（Original），从原形又可以派生出序列的几种变形，包括逆行 R（Retrograde）、倒影 I（Inversion）、倒影逆行 RI（Retrograde of Inversion）等。

3) Biles 与其 GenJam

Biles 应用遗传算法实现了一个实时交互式演奏系统——GenJam^[10, 11]。其可以对一段爵士旋律片段进行进化，进化的结果用于爵士独奏的材料。

GenJam 中的算法设计了 2 个分层关联种群：乐节种群（measure population）和乐句种群（phrase population）。一个乐节定义为 8 个音符组成的小节，而一个乐句包含 4 小节。这 2 个种群各自进行进化，有各自的变异和交叉运算。

GenJam 是目前为止最为成功的进化作曲系统之一，从 1994 年最初设计的一个简单概念模型开始，Biles 不断地对它进行修改完善。现在的 GenJam 已经是一个较为成熟的交互式实时演奏系统，可以与人类表演者一起进行各种形式的爵士乐演奏。

尽管算法作曲已经取得了巨大的进步，在研究与实现过程中，仍有一些不可避免的共同问题^[12]。

1) 音乐的知识表达问题

音乐的知识表达问题涉及如何建立音乐的“表层结构”和音乐“深层逻辑”的对应关系。不同作曲系统有不同的策略。例如，在以调性、传统和声为基础的主调音乐的多声部创作系统中，多采用符号化的规则表达模式，以使系统变得更有效；而对于试图模拟某位作曲家或某一时代特定风格的旋律生成系统，收集该作曲家或代表这一时代风格的作曲来训练一个神经网络会是更好的选择。问题的关键是，知识表达机制是否实用、有效以及构造的代价是否高昂。

2) 创造性与人机交互性问题

创造性是以听众的知识、直觉以及美学标准作为其判断基础。将创造性的概念融合到作曲算法中，是一个相当难的问题。这涉及到需要模拟作曲家自身的音乐创作过程，还是要模拟创作的结果的问题。

遗传算法作曲的一种实现是通过人机交互式的过程来实现的。对于大量由机器生成的音乐片段进行人工挑选，被挑选的音乐片段通过交互式遗传算法一代一代地演化。此处的关键，在于人应该如何介入这一人机交互过程，以使音乐创作变得更有效。

最终的作品还需要富有创意，这也是算法作曲研究所要面对的问题。

3) 音乐创作风格问题

音乐创作，很关键的一点是风格统一。统一音乐风格的一种方式，是收集某位作曲家或某一时代风格的作品来训练一个神经网络。这种方法回避了人们难以对音乐创作风格给以一个清晰定义的问题。

另一种模拟音乐创作风格的代表是 David Cope 将音乐创作视为一个互相拼凑的超级过程。他将已故大师一系列作品的例子编码为若干模式，并将其存放在一个数据库中。然后，使用若干计算函数来填充模式中缺省的内容，从而构造出已故作曲家曲风的新作品。而这一做法取得了巨大的成功。

4) 算法作曲的作品质量评估问题

作曲系统中的质量评估机制是一个很重要的部分，它往往会引导创作的方向，甚至最终确定作品的成败。但是要对音乐作品给出一个标准的美学评估是很困难的。目前的一种做法是，在一个作曲系统中建立形式规则库，以此对系统生成的旋律作质量评估。例如，可以建立一系列旋律的约束集合，旋律的质量可以通过测试其是否能很好地匹配一个给定的约束集合来评估。

四、总结与展望

遗传算法因为其自身特点，能很好地应用于算法作曲。无论是通过交互式方式来选择音乐片段，还是由程序完全自动地使用适应度函数选择音乐片段；无论以乐节乐段还是乐句为单位进行进化；无论利用遗传算法生成卡农式的复调音乐，还是根据乐曲风格，生成符合规则的片段进行超级拼凑，遗传算法被应用于算法作曲的方方面面。遗传算法在算法作曲中扮演着越来越重要的角色。基于遗传算法的进化作曲系统可以帮助人类完成作曲的不同任务，包括音乐动机的生成，旋律的发展，多声部的和声等不同的音乐层次。

然而，给予遗传算法的自动音乐作曲仍存在许多问题。遗传算法的目标是找出最优解或者近似解。然而在音乐作曲领域，并没有所谓的“最优解”，大多数进化作曲系统所生成的作品只能是合乎音乐逻辑的，而不一定是最动听的。

进化音乐，或者说算法作曲面临着巨大的挑战，其根本原因是：

- 1) 人为再现人类作曲家的天才与能力很困难；
- 2) 对于自动生成的旋律的美学评估下一个正式的准则很困难；

因此，E. Muñoz 等人提出了模因作曲方案^[1]，对音乐的多元进化过程进行模仿，组合不同模因的作曲代理，以有效地解决遗传算法固有的问题。这在进化音乐领域是一项突破性的技术，且从实验结果来看，其在各方面都优于传统的进化音乐方法。

因此，可以预见，在未来，进化音乐会向着使用多元进化的方法，并混合多种进化算法，各算法与各进化过程相互弥补的方向发展。并且，一种可能的趋势是，用户能够按照自己的心情状态来生成所需的音乐。

当然，如何让自动作曲系统更好地模拟人类作曲的过程，使得系统生成的音乐不止是合乎逻辑的，而且是动听的，是包括进化作曲系统在内的算法作曲系统未来真正的目标。

参考文献：

- [1] E. Munoz, J. Cadenas, Y. Ong, G. Acampora, "Memetic music composition", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 20, no. 1, pp. 1-15, 2016.
- [2] Alpen A. Techniques for algorithmic composition of music. 1995.
<http://alum.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>
- [3] Grout DJ. History of Western Music. 5th ed., New York: W. W. Norton & Company, 1996.
- [4] Järvelainen H. Algorithmic musical composition. 2000.
<http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf>
- [5] 冯寅, 周昌乐. 算法作曲的研究进展[J]. 软件学报, 2006, 17(2): 209-215.
- [6] 卿武明, 黄青松, 臧晓晗. 一种基于遗传算法的作曲方法[J]. 科技广场, 2008, (5): 126-130.
- [7] HORNERA, GOLDBERGDE . Genetic algorithm and computer-assisted music composition [C] . Proceeding of the 4th International Conference on Genetic Algorithm. San Diego:Morgan Kaufman Publishers, 1991.
- [8] DE-PRISCOR , GIANLUCA Z , ROCCO Z . A Genetic Algorithm for Dodecaphonic Compositions [M] . Applications of Evolutionary Computation, Heidelberg:Springer, 2011.
- [9] 郑英烈. 序列音乐写作教程 [M] . 上海:上海音乐出版社, 2007.
- [10] BILES J A . GenJam: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos [C] . Proceedings of the International Computer Music Conference. San Francisco:International Computer Music Association 1994.
- [11] BILES J A . Autonomous GenJam: Eliminating the Fitness Bottleneck by Eliminating Fitness [C] . Proceedings of the 2001 Genetic and Evolutionary Computation Conference Workshop Program. San Francisco:GECCO, 2001.
- [12] 汪镭. 进化作曲研究[J]. 上海师范大学学报, 2014, 43(1): 60-66.