

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 23020061152452

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于音型数据库的钢琴自动伴奏系统  
的研究与设计

Research and Design of Automatic Piano Accompaniment  
System Based on Figure Database

陈 魁

指导教师姓名: 冯 寅 副教授

专业名称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩日期: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 5 月

---

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

算法作曲是人工智能领域中一个研究方向，而为旋律配伴奏是其中一个十分具有挑战性和现实意义的研究分支。本文把旋律配和声看作是类似机器学习的一项任务，通过对于一系列样本的训练，构建了一个钢琴伴奏音型元结构数据库。随后，建立两个 HMM 模型来尝试着模拟作曲家为旋律配伴奏的思维过程，最终利用 Viterbi 算法为新的旋律乐段配钢琴伴奏。

文中，提出了“钢琴伴奏元结构”的概念，钢琴伴奏元结构由钢琴原始伴奏音型转换而来，元结构中每个音符的音高信息是一个变量，它随着应用环境的变化而不同，并且元结构中包含了能够表征一个和声状态的单拍子独立音群结构或单小节音群结构，以及涵盖 1~3 小节音乐片段中的模仿，模进创作技巧。所有这些都使得利用音型元结构来为旋律配伴奏，更加具有灵活性，多变性，更具有生命力。

此外，本文建立了节奏对比 HMM 以及和声 HMM 来模拟作曲家为旋律配置符合当前上下文音乐环境的节奏及和声的思维活动。节奏对比 HMM 是以确定的旋律片段中的音符时值序列为观察值，以对应的伴奏音型的节奏序列为隐含状态。而在和声 HMM 中，我们以一个小节或者一个拍子的旋律片段中的骨干音序列为观察值，以特征和弦为隐含状态。

本文旨在设计一个钢琴自动伴奏系统，它以一系列的带有钢琴伴奏的样本谱例为输入，通过训练阶段，系统收集钢琴原始伴奏音型并转换为音型元结构存入数据库中，同时调整 2 个 HMM 的参数，形成某种与输入样本相关的伴奏风格。在配曲阶段，系统根据旋律乐曲的基本信息，以及目前参数的伴奏风格，利用 Viterbi 算法，在数据库中为旋律片段选择合适的钢琴伴奏元结构，并且最终生成钢琴伴奏。

**关键词：**算法作曲； 隐 Markov 模型； 音型元结构

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## Abstract

Algorithmic Composition is a research area of Artificial Intelligence, and Harmonizing Melody is one of its branches. Here we regard melody harmonization with piano accompaniment as a machine learning task. After a series of existing samples consisting of melody with piano accompaniment are inputted for training, we construct a database collecting the meta-structures of piano accompaniment figures. Then, we build two HMMs to imitate composers harmonizing the melody music. At last, Viterbi Algorithm is used to harmonize the melody music with piano accompaniment.

A meta-structure of piano accompaniment figure is proposed in this article, which is translated from Original Piano Accompaniment Figure. In that meta-structure, the pitch information of the note is a variable, which will be determined by the places where it is used. Furthermore, meta-structure includes some special structures as note-group structure with single beat harmonic state transition, and some special harmonizing skill such as imitating and so on. All the characteristics above, make harmonizing using meta-structure of piano accompaniment figure agiler and varied.

In addition, HMM on a Rhythm Contract Progression and HMM on a Modal Chord Progression are proposed to imitate the harmonizing process of composers. In the first HMM, rhythms of the melodic piece are regarded as the observations while rhythms of original piano accompaniment figures are regarded as the hidden states. In the second HMM, we regard optimal characteristic chords as the hidden states while K-tone-step modal scale character units are regarded as the observations.

We intend to design an Automatic Piano Accompaniment System. In the training process, we input a series of existing samples consisting of melody with piano accompaniment. Our System can translate the original piano accompaniment figures into meta-structure of piano accompaniment figures, and then store them into the database while reevaluating the parameters of the two HMMs, finally form some kind of piano accompaniment style. In the composing process, our system use Viterbi

Algorithm to select appropriate meta-structure of piano accompaniment figures from the database ,and generate piano accompaniment for a given melody according to the melody information and the piano accompaniment style.

**Key Words:** Algorithmic Composition; Hidden Markov Model; Meta-Structure.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 算法作曲</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 算法作曲的定义 .....	1
1.1.2 算法作曲的发展历史 .....	1
1.1.3 算法作曲的特点 .....	2
<b>1.2 旋律配伴奏概述</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 相关研究概况</b> .....	<b>4</b>
1.3.1 基于规则的知识库系统 .....	4
1.3.2 人工神经网络 .....	4
1.3.3 基于演化的遗传算法技术 .....	5
1.3.4 算法作曲的音乐文法 .....	6
1.3.5 其他的一些方法 .....	7
1.3.6 研究发展趋势 .....	7
<b>1.4 本文的创新点</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5 论文的结构</b> .....	<b>10</b>
<b>第二章 自动伴奏系统中的 HMM</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 隐马尔可夫模型</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 隐马尔可夫模型概述 .....	11
2.1.2 HMM 的三个基本问题 .....	12
2.1.3 HMM 的基本算法 .....	13
<b>2.2 自动伴奏系统理论模型概述</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 系统基本概念的形式描述</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 音符、音群的形式描述 .....	17
2.3.2 调式的形式描述以及音级计算模型 .....	20
2.3.3 音群结构的'R 级置换 .....	23
2.3.4 模仿结构的形式描述以及原始钢琴伴奏音型 .....	25
2.3.5 调式和弦与音群结构的特征和弦及和弦特征 .....	27
2.3.6 节奏对比序列 .....	31
2.3.7 K 声调式音阶特征以及最优特征和弦序列 .....	32
<b>2.4 音型元结构概述</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5 自动伴奏系统中的两个 HMM</b> .....	<b>34</b>
2.5.1 钢琴伴奏风格的形式描述 .....	34
2.5.2 和声的隐马尔可夫模型 .....	35
2.5.3 节奏对比的隐马尔可夫模型 .....	38
<b>2.6 HMM 的训练过程</b> .....	<b>39</b>
<b>2.7 HMM 中 Viterbi 算法的应用</b> .....	<b>41</b>
<b>第三章 系统以及实验结果</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1 钢琴自动伴奏系统概要</b> .....	<b>45</b>
3.1.1 系统设计目标及组成 .....	45

3.1.2 系统的框架结构.....	45
3.2 系统训练过程 .....	46
3.3 音型数据库的建立 .....	50
3.3.1 数据库的组成.....	50
3.3.2 音型元结构的收集.....	51
3.4 配曲过程 .....	58
3.5 实验结果以及分析 .....	61
<b>第四章 总结与展望.....</b>	<b>63</b>
4.1 全文总结 .....	63
4.2 今后的工作 .....	64
<b>附录一 算法配伴奏的实验结果 .....</b>	<b>65</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>75</b>
<b>硕士期间所参与的科研课题与发表论文.....</b>	<b>81</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>83</b>

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Algorithmic Composition</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Definition of Algorithmic Composition .....	1
1.1.2 Development of Algorithmic Composition .....	1
1.1.3 Characteristic of Algorithmic Composition .....	2
<b>1.2 Overview of Harmonization</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Related Research</b> .....	<b>4</b>
1.3.1 Constraint-Based System .....	4
1.3.2 Artificial Neural Network .....	4
1.3.3 Genetic Algorithm .....	5
1.3.4 Musical Grammar .....	6
1.3.5 Others .....	7
1.3.6 Trends .....	7
<b>1.4 Innovation</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5 Structure of the Dissertation</b> .....	<b>10</b>
<b>Chapter 2 HMMs in Automatic Piano Accompaniment System</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Hidden Markov Model</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Overview of HMM .....	11
2.1.2 Three Basic Problems of HMM .....	12
2.1.3 Algorithms of HMM .....	13
<b>2.2 Overview of System's Theory Model</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Formal Description on the Basic Concepts in the System</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 Formal Description on Note and Note-Group Structure .....	17
2.3.2 Formal Description on Modal System and the Computational Model .....	20
2.3.3 'R-Level Transformation of a Note-Group Structure .....	23
2.3.4 Structures Including Imitation and Original Piano Accompaniment Figure .....	25
2.3.5 Modal Chord and Characteristic Chord of a Note-Group Structure .....	27
2.3.6 Rhythm Contrast Sequence .....	31
2.3.7 K-Tone-step Modal scale Character and Optimal Characteristic Chord .....	32
<b>2.4 Overview of Meta-Structures of Piano Accompaniment</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5 The 2 HMMs in Automatic Piano Accompaniment System</b> .....	<b>34</b>
2.5.1 Formal Description on a Piano Accompaniment Style .....	34
2.5.2 HMM on a Modal Chord Progression .....	35
2.5.3 HMM on a Rhythm Contract Progression .....	38
<b>2.6 Training Process of HMM</b> .....	<b>39</b>
<b>2.7 the Application of Viterbi</b> .....	<b>41</b>
<b>Chapter 3 System and Results</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1 Overview of System</b> .....	<b>45</b>
3.1.1 Composition and Object of the System .....	45
3.1.2 Framework of the System .....	45

3.2 Training Process .....	46
3.3 The Establishment of the Database .....	50
3.3.1 Composition of the Database .....	50
3.3.2 Collection of Meta-Structures of Piano Accompaniment .....	51
3.4 Composing Process .....	58
3.5 Results and Analysis .....	61
<b>Chapter 4 Conclusion and Future Work .....</b>	<b>63</b>
4.1 Conclusion .....	63
4.2 Future Work .....	64
<b>Appendix 1 Results of Experiments .....</b>	<b>65</b>
<b>Reference .....</b>	<b>75</b>
<b>Publiccations .....</b>	<b>81</b>
<b>Acknowledge .....</b>	<b>83</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 算法作曲

#### 1.1.1 算法作曲的定义

算法作曲 (Algorithmic Composition), 又称为自动作曲 (Automated Composition), 是指用某种逻辑过程来控制音乐的生成。人们在算法作曲过程中首先设定作曲的规则, 设计适当的逻辑; 之后在尽可能不干预的情况下, 让计算机完成作曲的过程。算法作曲是试图使用某个形式化的过程使人 (或作曲家) 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 (Alpen, 1995)<sup>[1]</sup>。而算法作曲生成的音乐作品的艺术风格, 受到作曲规则的设定的影响。

大多数音乐家都难以接纳算法可以创作并理解音乐这样的事情。许多人把音乐创作行为视为灵感以及其它不精确概念的推演。尽管音乐创作具有随机性, 但一般我们都认为, 音乐是人类思维活动的产物。我们知道, 算法可通过一个约束的集合来描述。这些约束集合在一个有限的无二义步骤中至少完成一项任务。而任意一种音乐风格应可通过约束来定义。理论上来说, 一个作曲家, 在创作音乐时具有无限制的选择自由, 但是, 音乐创作并不是“什么你可以做”而是“什么你不可以做” (P. Silva, 2003)<sup>[2]</sup>

#### 1.1.2 算法作曲的发展历史

算法作曲是某种模式化作曲概念在计算机上的延伸, 在计算机出现之前, 无论是东方音乐还是西方音乐, 均有其一定程度的形式化基础。

有关旋律创作的形式化技术可以追溯到 11 世纪. 当时, 有一位名叫 Guidod' Arezzo 的人构造了一种可为一本宗教书籍中的每个元音设计不同音高的模型<sup>[3]</sup>。

15 世纪的时候, 节奏模式就被系统地使用在具有均匀节奏的圣歌中<sup>[3]</sup>。

此外, 我们熟悉的许多结构形式如卡农、赋格, 和许多发展手法如倒影、逆行、模进等, 也具有算法作曲的特征。

算法作曲的特征还体现在随机音乐的某些实现方式中。作曲家完成不同的音乐模块后，由演奏家掷骰子决定模块的演奏次序。最著名的例子是莫扎特的圆舞曲《音乐骰子游戏》，他创作了 176 小节音乐，然后将小节号排列为两个特别的矩阵图，用掷骰子的方式来决定演奏的次序。

约翰·凯奇在作品《Reunion》中，将演奏的选择交给两位下象棋的选手，他们在具有图像感应功能的棋盘上每走一步，都会触发不同的声音，这样，每盘棋都是这些声音材料的一次新的重组。此时，音乐生成的逻辑取决于棋盘上两军对抗的风云变幻。

计算机出现之后的算法作曲总是和计算机音乐联系在一起。计算机上实现算法作曲的途径非常多。但从根本上来看，所有的方法都能归于两种基本类型：1. 用特定的算法控制声音产生与变化的过程，这种方法直接产生音响结果。2. 用特定的算法控制音符的产生与变化，这种方法生成乐谱，然后利用 AUDI 设备或演奏家的演奏来获得音响结果。

### 1.1.3 算法作曲的特点

算法作曲所要面对的主要问题和传统作曲方式并无区别，都是要考虑如何构成音乐的核心材料，以及如何将核心材料变形发展。而此类问题的表达方式又各不一样：1. 以多种音乐基本要素的综合形态为核心，首先构成短小的动机或主题，然后加以发展。2. 以乐音关系为核心，用特定的音列或音集(包括特定的音程特性)作为核心材料(不一定构成性格鲜明的动机或主题)，控制乐音的运动。3. 以发展逻辑为核心，任何局部都不具有核心的意义，只有通过音乐的整体发展过程才能揭示出来。第一和第二种方式在传统创作过程中常见，而在计算机音乐中，则第二和第三种方式更容易被计算机所“理解”。

构成多种多样的变化形态，是计算机的特长。从这个方面来看，人是不具有可比性的。在一定的范围内，计算机几乎可以穷尽所有可能的变化形态。然而，如何恰当地选择变化形态，构成有意味、有审美价值的音乐过程，却是计算机的一大难题。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库