



北京大學

音乐与数学期中报告

浅析《燕园情》与《平凡之路》  
的马尔科夫谱曲特点

小组成员	院系	学号
李思哲	信息科学技术学院	1900013061
胥文豪	信息科学技术学院	1900012769
李珩周	工学院	2000011016
刘安竹	医学部	2010301209
于程	信息科学技术学院	2000012908
江惠珍	信息科学技术学院	1900012945

小组：4-34

二〇二一年6月

## 小组分工：

李思哲：python 代码实现

胥文豪：论文前部分及附录撰写

李珩周：随机音乐分析、问题与改进部分

刘安竹：乐谱的制作

于程：计算并绘制转移矩阵

江惠珍：报告综合、排版

# 目录

摘要	4
一、背景介绍	4
(一) 生成式艺术与算法创作	4
(二) 马尔科夫链与随机音乐	4
二、随机音乐研究过程	5
(一) 曲目选择	5
(二) 一阶马尔科夫链的计算	6
(三) 一阶马尔科夫乐曲的生成	8
三、随机音乐分析	9
(一) 一阶马尔科夫乐曲《燕园情》《平凡之路》的生成	9
(二) 一阶马尔科夫乐曲《燕园情》+《平凡之路》的合成生成	10
四、问题与改进措施	10
(一) 增加乐曲长度，让机器谱出新曲子	10
(二) 结合作曲知识，让机器谱出好曲子	10
(三) 进行横向比较，研究不同风格乐曲	11
(四) 逐步升高阶数，探究音乐随机过程	11
附录	12
参考文献	12

**摘要** 本报告以《燕园情》与《平凡之路》为研究对象，选取两首乐曲某一小节进行一阶马尔科夫链的计算，生成相应的随机音乐。通过对生成的随机音乐的旋律、节奏、变化等方面的分析，本报告旨在为随机音乐与原乐曲的差异提出可能的解释，同时对随机音乐不足之处的补正措施进行构想。

**关键词** 马尔科夫链 燕园情 平凡之路 随机音乐

## 一、背景介绍

### （一）生成式艺术与算法创作

在娱乐音像产业快速发展的今天，消费市场对丰富而个性化的内容流的需求愈发强烈，在这种情况下，音频剪辑与效果制作软件等传统工具对相关工作者提供的帮助愈发有限。因此，研究并模仿人类创造过程，应用计算机算法，让机器在一定程度上实现自主创作的生成式艺术逐渐走进了相关领域的前沿。

生成式艺术是指部分或全部使用自动创作系统的艺术。创作者通过设计一个包含诸如编程语言、二进制代码、数据映射等规则的机制进行自动化处理，并最终生成随机的艺术作品。作为一种辅助创作者的手段，生成式艺术不含有任何主观创作意向，也不属于任何艺术流派和意识形态。

算法创作主要研究艺术创作的自动化过程，其涉及的领域包括绘画、音乐、文学等。相比于对问题的分析、判断、评估与使用、实施，算法创作更加注重想像、发现、创造的智能。随着计算机技术的发展，算法创作在通用性、互动性、复杂性和行为模式上都产生了不同的分支。

### （二）马尔科夫链与随机音乐

随机音乐属于生成艺术的一种，和生成艺术一致的，其产生离不开人们对更自然轻松地创作音乐的想法，故而从广义上而言，风铃、风弦琴、水琴窟均属此类。从更严格的角度而言，莫扎特以 176 小节音乐形成的矩阵图为蓝本进行的音乐骰子游戏可视为随机音乐系统的滥觞，而泽纳基斯不但在发售的专辑中大胆采用马尔科夫链谱曲，更是专门著述了以马尔科夫链概率谱曲的算法。

马尔科夫链作为概率模型被用于本次随机音乐生成的研究过程中。其通过概率矩阵的计算对乐曲本身的性质进行刻画，以避免生成的乐曲与原曲的联系度过低的问题；同时，马尔科夫链出于概率进行音乐生成，使得生成的随机音乐跳出了原曲乃至传统和弦的桎梏，在各方面产生耳目一新的效果。

## 二、随机音乐研究过程

本次随机音乐的研究过程可分为：曲目选择、一阶马尔可夫链计算、随机音乐生成三个部分。

### （一）曲目选择

常言道“工欲善其事，必先利其器”，曲目作为随机音乐生成与马尔科夫链计算的载体，其本身也应该满足一定特点。简单来说，选取的乐曲应结构中正，不宜过于复杂以致于分析难度过大，也不应重复度过高以至缺少研究价值。在反复讨论后，决定选取《平凡之路》与《燕园情》作为研究对象。

《燕园情》作为一首合唱曲目，由北大校友周保平作词，中国铁路文工团副团长孟卫东作曲，意在纪念北京大学 1952 年迁入燕园的事迹。选择该曲目，一方面是因为该乐曲本身旋律中正，高低声部衔接流畅，同时乐曲结构清晰而不复杂，易于分析且生成的随机音乐能够具有更多的可能性；一方面，此曲目音色优美，旋律恢宏，作为多数人心照不宣的校歌，在北大各大活动中作为全体合唱曲目频繁出现，在高校圈具有很高的知名度，堪称无冕之王。

《平凡之路》由朴树作词作曲，是一首传唱度甚广的流行乐曲，除去情怀和歌词的加持，其仍不失一首高水平的作品。在旋律上并没有流水线的匠气，维持了创作者一贯的高水准，其具体表现为由低至高的螺旋步进，副歌部分的抓耳；整体呈现为旋律的流畅，对于独唱和合唱都有很好的适应性；编曲方面由浅入深，以单乐器起手逐次增加，最终以多乐器实现情绪的爆发，虽然合成器的音色略显廉价，总体而言仍是瑕不掩瑜，通过分析其高潮部分，有助于对随机音乐如何在未来维持高水准和流行的平衡提供启示。

两首乐曲的版本选取均为原版本，其选取乐谱部分如下：

## 燕园情



图 1 《燕园情》原曲五线谱

## 平凡之路

朴树 曲



图 2 《平凡之路》原曲五线谱

### (二) 一阶马尔科夫链的计算

考虑音符的时值，即把音高相同但时值不同的音符当作不同的状态分别计算《燕园情》（19 小节）与《平凡之路》（9 小节）和两段曲子合并后的一阶马尔科夫链如图 3、图 4、图 5。



图的第一列是前一个音符及其时长（拍数，以十六分音符为一拍），其所在行的数字对应其后该列所对音符出现的概率。

### （三）一阶马尔科夫乐曲的生成

将程序生成的随机音表导入绘图软件后，即可生成相应的马尔科夫随机音乐乐谱如下：

#### 燕园情-Marcov



图 6 《燕园情》一阶

#### 平凡之路-Marcov



图 7 《平凡之路》一阶

## 燕园情+平凡之路



图 8 《燕园情》+《平凡之路》一阶

### 三、随机音乐分析

#### (一) 一阶马尔科夫乐曲《燕园情》《平凡之路》的生成

在选曲角度上，需要考虑小节的长度问题，如果所选曲目片段小节过长会使得生成的曲目随机性较强，相应的规律性下降；如果片段过短则生成曲目单一，与原曲相似性大大提高，失去了随机音乐的创作目的。考虑到这个问题，本次挑选的两首曲目分别截取了 9 个小节与 19 个小节进行创作，效果较好。

在本次创作中，《燕园情》是效果较好的一首，前半部分音乐上保持了与原曲旋律的大体一致性，后半部分却又凸显出了不一样的特色与美感，让人眼前一亮。通过对比曲谱可以看出，前十个小节中八分音符与四分音符的交替出现使得节奏上与原曲有了一定的关联性，听觉上呈现出“缓——急——缓——急”的效果，仿佛在娓娓道来的诉说着一个故事；十一至十七小节则连续使用八分音符进行描述，节奏明显加快，给人一种高潮来临的快感，丰富了曲目的节奏变化形式，这是原曲中所没有的内容，发挥出了随机音乐的优势。由于样本的选取较短，转移矩阵中大部分位置均为 0，也使得随机性没有那么的突出，这一点在一些重复性较高的片段得以体现，是继续研究所需要改进的问题。

相比之下，《平凡之路》的二次创作就没有那么惊喜了。在聆听之前先看曲谱部分，就已经可以发现其中十六分音符过多，使得曲目节奏整体加快，又显得有些细碎，试听之后确实如此。探究其中原因，我们发现，原曲部分“前八后十六”与“前十六后八”的使用较多，这与该部分为原曲高潮片段有关。而进行随机音乐的创作之中，该部分的十六分音符被切开分散分布，这就造成了节奏失调的问题。因此在选曲过程中，仔细分析原曲中节奏变化特点的工作是必要的。

## （二）一阶马尔科夫乐曲《燕园情》+《平凡之路》的合成生成

将两首曲目共同合成之后，聆听效果有了明显的改善，并且由于小节数的增多，已经听不出来有任何与前两首曲目共同的特点，达到了随机音乐的目的。其中前八个小节生成较好，注重了高音区与低音区的交替，节奏富于变化又不显重复之感，值得进行后续的挖掘。中间部分节奏较快，适宜作为曲目的递进甚至高潮部分，有逐级上升之感，引领人一步一步进入作曲人的内心世界，激发了聆听兴趣；而结尾处又突然舒缓下来，音符时值普遍偏长，好似一下进入了空灵的世界，只有悠长的音符回荡，引发了聆听者的无限遐想与回味。总体来看，这首曲目是成功的，当然在细节衔接上与节奏选择上还很粗糙，毕竟只是一阶马尔科夫链的产物。如若想继续进行完善，则可以考虑利用二阶马尔科夫链甚至更高阶，再经过生成片段的重新筛选与整合创作满意的作品。

## 四、问题与改进措施

### （一）增加乐曲长度，让机器谱出新曲子

通过一阶马尔科夫链谱写的乐曲可以看出，我们所选取的样本量还是偏小，导致音符出现的随机性不大，最终产生与原曲较为相似的曲子。小组在计算时分别截取了九小节与十九小节，理论上来说比较合适，但依旧在出现了相似的情况。针对这一问题，小组认为应当加大样本量，再算几小节。但同时，由于曲目本身旋律限制，几小节后会出现重复，因而小节数选取也不宜增加过多。

### （二）结合作曲知识，让机器谱出好曲子

两首曲目的调式均是C大调，因而在机器谱曲时也应当遵循相同的规律，采用相同的和声进行，抑或采用其他进行方式，例如I IV V I 的和声进行等等。和声进行对初级谱曲系统谱曲较难暂时不谈，但音乐在最后回归到根音上，而并非如其中几首歌一般停留在和弦上，给人一种悬在空中等待结束的感觉，没有一个良好的收尾，如果乐曲结束没有落回该调式，那么程序就应该重新运行，直到产生满意结果。本程序应当从乐曲本身出发，在这方面还进行完善，初步做到用机器生产好乐曲。

### **（三）进行横向比较，研究不同风格乐曲**

从比较研究上，本小组亦认为可以进行额外的研究，探究马尔科夫链谱曲效果问题。阶本次研究仅选取《燕园情》《平凡之路》为样本，计算马尔科夫链并谱曲。若在研究中同时计算西方古典音乐，产生的随机乐曲是否会呈现不同的风格？在调式和节奏上会不会大有出入？利用马尔科夫链看东西方音乐流变亦是很好的研究方向，或许可以为我们带来新的启示。

### **（四）逐步升高阶数，探究音乐随机过程**

二阶马尔科夫链效果优于一阶，升至更高阶是否依旧满足这一结论仍不可下定论。阶数升高后，概率矩阵将更依赖于样本旋律本身。受限于截取长度，最终乐曲可能会与原曲越来越像，甚至完全一致。但是提高马尔科夫链的阶数，探究音乐的随机过程，比较 $1\sim 8$ 阶马尔科夫链的谱曲效果仍是具有进一步研究的意义。

## 附录

1. **原谱:** 原谱-燕园情.png 原谱-平凡之路.png
2. **生成音乐:** Markov-燕园情.mp3 Markov-平凡之路.mp3 Markov-燕园情+平凡之路.mp3
3. **生成乐谱:** 生成谱-燕园情.png 生成谱-平凡之路.png 生成谱-燕园情+平凡之路.png
4. **转移矩阵:** 转移矩阵-一阶燕园情.xlsx 转移矩阵-一阶平凡之路.xlsx 转移矩阵-一阶燕园情+平凡之路.xlsx
5. **Python 代码:** 代码-一阶燕园情随机.py 代码-一阶平凡之路随机.py 代码-一阶燕园情+平凡之路随机.py

## 参考文献

- [1] F. Brooks, A. Hopkins, P. Neumann, and W. Wright, An experiment in musical composition, IRE Transactions on Electronic Computers, EC-6 (1957), 175–182.
- [2] Gareth Loy, Musimathics: The Mathematical Foundations of Music, Volume I, The MIT Press, Cambridge, 2006, §9.19.