

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2020.01.009

基于 LabVIEW 数字图像生成音乐旋律算法的研究

郭凌华^{1,2,3,4}, 刘明磊^{1,2,3,4}, 丁亭文¹, 张宜洋^{1,2,3,4}, 王 杰^{1,2,3,4}

(1. 陕西科技大学 轻工科学与工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 陕西科技大学 轻化工程国家级实验教学示范中心, 陕西 西安 710021; 3. 陕西科技大学 中国轻工业纸基功能材料重点实验室, 陕西 西安 710021; 4. 陕西科技大学 陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 陕西 西安 710021)

摘要: 基于 LabVIEW 建立一种数字图像转化为音乐旋律的算法, 提高纸媒的趣味性, 为音乐创作提供动机。通过分析图像灰度直方图与音乐旋律的关系, 基于 LabVIEW 完成了通过图像灰度直方图获得一段旋律并转化为 MIDI 文件的功能。生成结果表明: 不同灰度直方图能够生成不同的音乐旋律; 通过对生成乐谱的观察, 发现生成的旋律能够反映灰度直方图的大致变化趋势, 阶调丰富的图像最适合生成旋律。

关键词: LabVIEW; 数字图像; 旋律生成算法; MIDI 文件

中图分类号: TS891 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2020)01-0065-07

Research on algorithms for music melody generation from digital image based on LabVIEW

GUO Linghua^{1,2,3,4}, LIU Minglei^{1,2,3,4}, DING Tingwen¹, ZHANG Yiyang^{1,2,3,4}, WANG Jie^{1,2,3,4}

(1. College of Light Industry Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering Education, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 3. Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 4. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Paper Technology and Specialty Paper Development, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Based on LabVIEW, an algorithm for converting digital image into melody is established to improve the interest of paper media and provide motivation for music creation. By analyzing the relationship between gray histogram of image and music melody, the model for the image and music is obtained according to LabVIEW. Results show that different gray-scale histograms could generate different musical melodies. Through the observation of the generated score, it is found that the generated melody could reflect the general change trend of the gray-scale histogram, and that the image with rich gradations is most suitable for generating melody.

Key words: LabVIEW; digital image; algorithm of generating melody; MIDI file

随着数码科技的迅猛发展, 电子互动类图书在儿童读物中比例日趋增长, 同时也受到了儿童的喜爱。电子互动类图书在带来丰富体验感的同时也存在一定缺陷^[1]。电子互动类图书阅读时间久了容易引起儿童视力下降, 同时制作成本高等因素会影响消费者的购买热情^[2-3]。在这种背景下, 发挥传统

纸质媒介的原有优势, 同时提升纸媒的高附加值是目前行业中研究的热点。算法作曲常用的关键技术包括 Markov 链、随机过程、基于音乐规则的知识库系统、音乐文法、人工神经网络技术、遗传算法等^[4-5]。作曲家沃尔夫冈·阿玛德伊思·莫扎特使用骰子产生随机数, 采用对乐曲片段进行组合的形

收稿日期: 2019-12-04; **网络出版日期:** 2020-04-21

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20200421.1459.010.html>

基金项目: 陕西省科技厅工业公关资助项目(2016GY-017, 2016GY-079); 西安市科技局高校院所人才服务企业工程资助项目(2017068CG/RC031(SXKD008)); 西安市未央区科技计划资助项目(201825)

第一作者: 郭凌华, 女, 教授, 博士, 研究方向为防伪印刷及颜色科学。E-mail: guolinghua@sust.edu.com

式作曲;约翰·凯奇应用传感器的棋盘及在棋盘上移动棋子的方式触发声音形成旋律;查尔斯·多吉通过计算机计算地球的磁场变化进行作曲等^[6]。上述音乐作曲方法,对作曲者专业素质要求很高,无法在纸质儿童读物中普及。上海师范大学黄志方^[7]利用穿戴式设备的反馈信息触发音乐算法,该方法依据人体肢体动作转换为随机信号的原理完成音乐生成;戴永冰^[8]设计了一种通过魔方的特征进行作曲的算法,该算法的核心是应用随机数原理完成音乐生成。基于 LabVIEW 将数字图像直方图与音乐旋律结合起来完成作曲,目前还未见报道。

本文基于 LabVIEW 建立一种将图像转化为音乐的算法,将拍摄或电子设备中储存的数字图像作为作曲素材为孩子提供灵感与作曲动机。通过一副图像获得一段音乐旋律,实现图文和声音并茂的效果,丰富了图书的内容,提高了图书的趣味性,开发使用者音乐创作的潜力,在产品原有的基础上拓展内容,降低电子互动类图书的制作成本。

1 基于 LabVIEW 随机数生成旋律的原理研究

旋律是由一系列具有音高、延续时长、音色、音量的音构成,在乐谱上以序列的方式排列。通过对选取的音符或音乐片段进行编号,根据投掷骰子出现的点数选取编号,多次投掷骰子,按照骰子点数出现的顺序将音符或音乐片段进行组合,形成一段随机的旋律或音乐。在 LabVIEW 中编程,使用随机数对一个输入了选定音高的数组进行索引,索引出的频率值构成了一个音高序列,可以用于自动作曲。设置乐曲的发声时长,在 LabVIEW 中,通过使用随机数的方式选取数组中的频率,输入 Beep. vi 中则可得一段旋律,程序框图如图 1 所示,该程序可以通过随机数生成的索引值选取频率值并按次序播放。

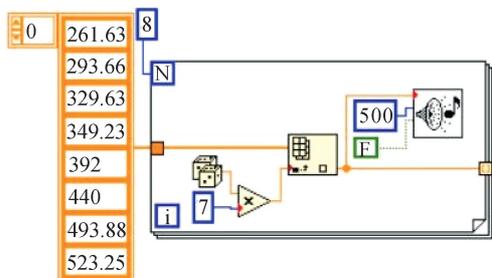


图 1 随机数生成旋律程序框图

Fig. 1 Flow chart of random numbers generate melodies

1.1 数字图像和旋律的关系研究

旋律是音乐的主要成分,旋律线的概念是由奥

地利作曲家恩斯特·托赫在《旋律学》^[9]一书中首次提出,以曲线的方式对音乐旋律进行描述与分析,通过旋律线的运动来表达感情、构成艺术形象^[10]。旋律的创造依赖于灵感,是无法通过单纯的理性而得到,因此作曲需要一定的随机性^[11]。然而骰子音乐生成旋律的算法不能完成对生成旋律走向的控制,不能够对生成旋律的走向进行预测,需要引入素材对随机数进行限制,以线条的高低变化限制音高的发展变化。根据人眼的视觉特性^[12-13],灰度直方图在二维坐标中带有线性变化的特征,可以与旋律线相联系。在五线谱中,将表示旋律的一系列音符按顺序连接起来会构成一条旋律线。旋律线的走向如图 2 所示。



图 2 旋律线走向

Fig. 2 Trend of melody line

数字图像的灰度直方图是反映图像特性的重要参数^[14],灰度直方图由一系列数据构成,也具有上下起伏的趋势,可以转化为音乐序列。对于不同数字图像,灰度直方图呈现随机变化的形式,因此数字图像中的灰度直方图可以代替随机数,控制旋律的生成^[15]。

图像的灰度直方图构成的数组记为 $Array_1$, $Array_1$ 中有 256 个元素,而播放 256 个数值的过程冗长,因此需要选取数值进行控制。选取特定的灰度级,控制随机数的数目,其公式为:

$$T = [256/c] \quad (1)$$

式中: T 为被取数值的个数; c 为选取数据的间隔。

数字图像的灰度直方图是对各个灰度级的像素进行统计得到的^[16],不同图像灰度直方图的数值大小不一,有些数值远远大于数组的最大索引,为同时使随机数值大小的起伏接近灰度直方图的起伏趋势,控制输出新的数组 $Array_2$, 公式为:

$$A_i = \sum_{n=i \cdot c}^{(i+1) \cdot c-1} L_n / p \quad (2)$$

式中: L_n 为图像灰度级为 n 的像素的个数; p 为被处理的图像像素总数; A_i 为数组 $Array_2$ 中第 i 个元素, $i=0 \sim T-1$ 。

为了减少生成旋律的不确定性,选取 8 个音的频率值构成数组。选取的 C 大调音阶频率值分别为 261.63 Hz、293.66 Hz、329.63 Hz、349.23 Hz、392 Hz、440 Hz、493.88 Hz、523.25 Hz,索引值由 0 至 7 依次排列,建立 C 大调音阶数组。为提高生成旋律的和谐程度,根据三和弦的构成原理,在三和弦

的基础上建立一个数组^[17]。选取三和弦构成音频率值为 261.63 Hz、329.63 Hz、392 Hz、523.25 Hz、784.89 Hz、1 045.2 Hz、1 306.5 Hz、1 568.7 Hz,索引值由 0 至 7 依次排列,建立三和弦数组。

通过数组 $Array_2$ 中的元素对 C 大调音阶数组或三和弦数组进行索引并播放即可得到一段旋律,由索引值生成的频率生成数组 $Array_3$ 。其公式为:

$$B_i = (S - 1) A_i / A_{\max} \quad (3)$$

式中: S 为音符构成的数组的大小; A_{\max} 为数组 $Array_2$ 中的最大值; B_i 为数组 $Array_3$ 中的第 i 个元素。

1.2 MIDI 文件生成原理研究

MIDI 是乐器数字接口 (musical instrument digital interface, MIDI) 的简称^[18], MIDI 文件是由一系列指令组成的音乐序列记录文件。在 LabVIEW 中,通过十六进制字符串写入二进制文件的方式生成 MIDI 文件, MIDI 文件中特定的字符串有特定的作用。按次序输入字符串即可获得一个 MIDI 文件。

将生成的音乐旋律转化为 MIDI 文件需要将 $Array_3$ 中频率数值转化为 MIDI 文件中的音高序号,其公式为:

$$N_i = \log_{1.05946} \left(\frac{B_i}{16.345} \right) \quad (4)$$

式中: B_i 为数组 $Array_3$ 中第 i 个元素,为频率的数值大小; N_i 为 MIDI 文件中第 i 个音对应的音高序号。

2 基于 LabVIEW 数字图像生成音乐旋律模型的建立

通过 LabVIEW 建立 4 个子 vi,完成对指定的数字图像的读取、处理和转化。第一级命名为灰度直方图 vi,功能为读取储存在电子设备中被选中的数字图像,输出图像信息。第二级命名为数据选择 vi,功能为处理上一级的数据,控制输出的数据个数,使输出数组数据的趋势接近灰度直方图的起伏趋势。第三级命名为旋律生成 vi,功能为将给定的数组转化为一段旋律并进行播放。第四级命名为 MIDI 文件生成 vi,功能是将生成的旋律生成 MIDI 文件。通过顶层 vi 对 4 个子 vi 进行连接,实现各子 vi 的调用,顶层 vi 的程序框图如图 3 所示,在程序选取要读取的文件,设置完成后,能播放一段旋律并将生成的旋律转化为 MIDI 文件。

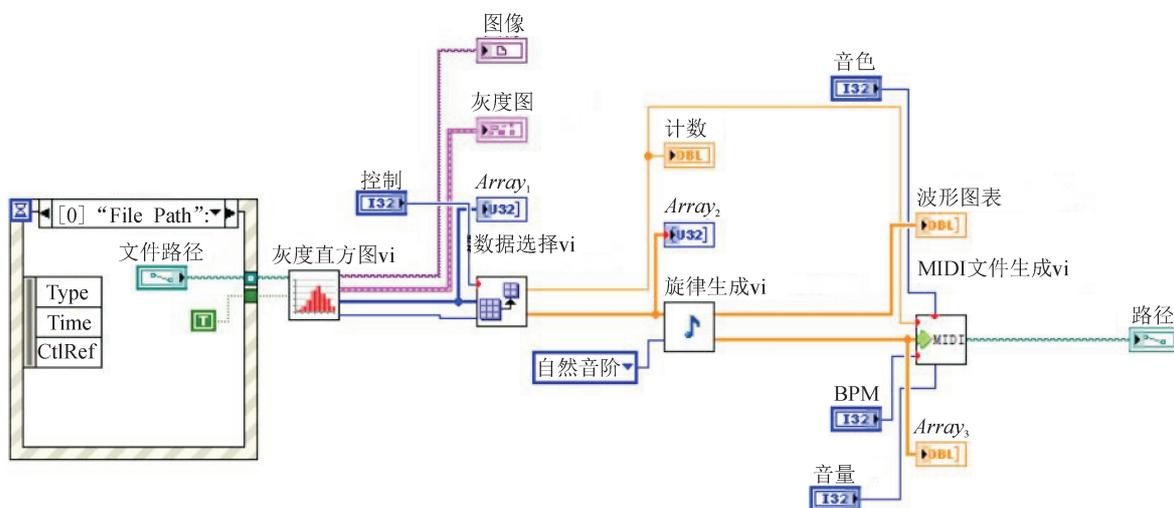


图 3 顶层 vi 的程序框图

Fig. 3 Block diagram of top. vi

2.1 数字图像数据的读取

数字图像数据的读取由灰度直方图 vi 完成,程序框图如图 4 所示。通过 LabVIEW 的 IMAQ 模块读取图像,首先通过 IMAQ 中的 Create 控件建立图像缓存,再用 IMAQ 中的 ReadFile 控件建立读取图像的路径。通过 IMAQ 中的 Histogram 控件获取图像文件的灰度直方图,将图像的灰度直方图转化为数组 $Array_1$,同时,通过像素数目控件 Area pixels 获取图像的像素数目 p ,输出的数据向下一

级 vi 传递。

2.2 数字图像数据的处理

数字图像数据的处理由数据选择 vi 完成,程序框图如图 5 所示。该子 vi 功能为处理灰度直方图构成的数组,控制输出数据的数目,使输出的数组 $Array_2$ 保持数组 $Array_1$ 中的趋势。以 Control 控件的输入数值为 c 值,以 Count 控件的输出元素个数为 T 值,根据式(1)进行数据的处理,根据式(2)对 $Array_1$ 中的数据进行处理,生成数组 $Array_2$ 。

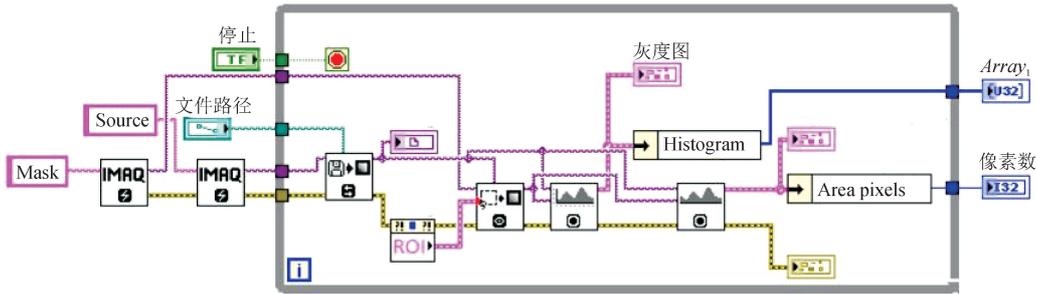


图 4 灰度直方图 vi 的设计
Fig. 4 Design of Histogram.vi

2.3 音乐旋律的生成

音乐旋律的生成由音乐生成 vi 完成,程序框图如图 6 所示。根据式(3)进行数据处理,将 $Array_2$ 中的元素转化为索引值对频率数组进行索引,通过 Beep.vi 进行播放,同时输出数组 $Array_3$ 。

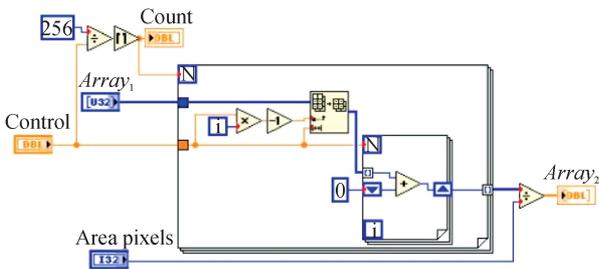


图 5 数据选择 vi 的程序框图
Fig. 5 Block diagram of data selector.vi

2.4 MIDI 文件的生成

MIDI 文件的生成由 MIDI 生成 vi 完成,程序框图如图 7 所示。根据表 1 中的顺序进行 16 进制字符串的输入,通过式(4)将 $Array_3$ 中频率值转化为 MIDI 文件中表示音高的序号,将生成的旋律转化为 MIDI 文件实现对生成旋律的记录,以便于旋律的研究与修改。

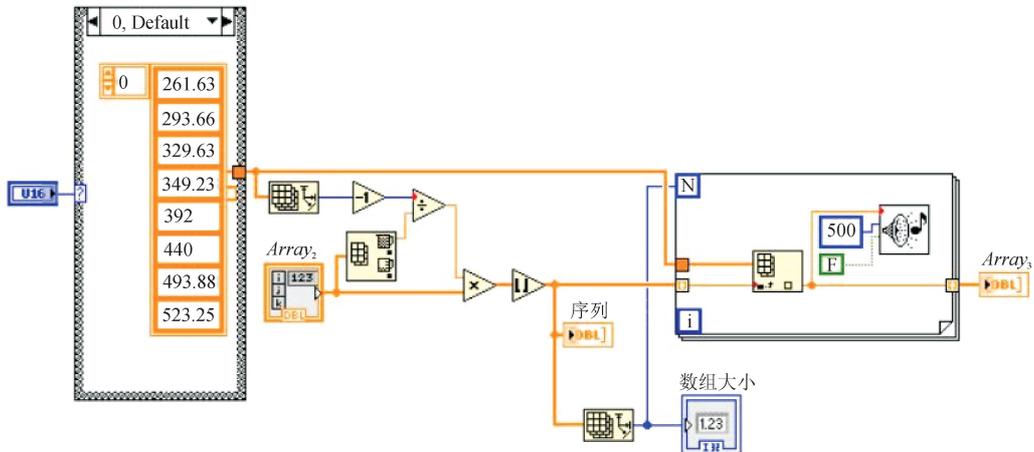


图 6 旋律生成 vi 的程序框图
Fig. 6 Block diagram of melody generator.vi

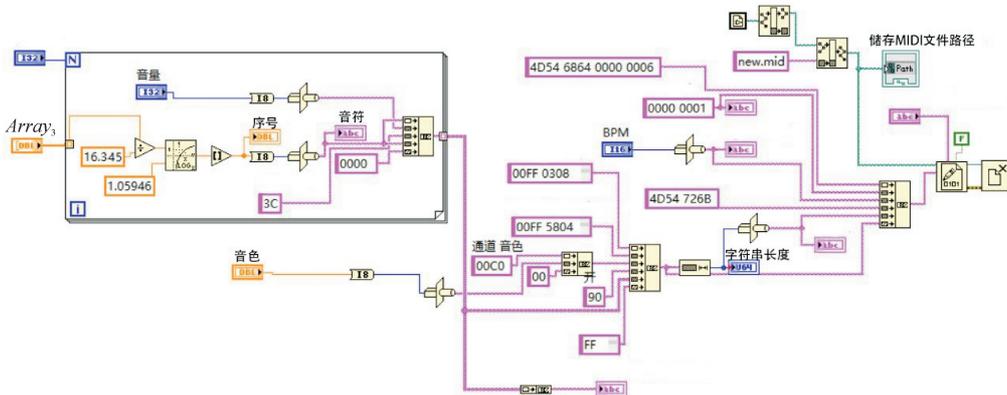


图 7 MIDI 生成 vi 的程序框图
Fig. 7 Block diagram of MIDI generator.vi

3 模型的验证

3.1 不同灰度图像的验证分析

灰度直方图反映的是图像在各个灰度级下像素的个数,不同的数字图像的灰度直方图可能具有相同的变化趋势^[19]。参数 γ 指定了数字图像的灰度直方图曲线的形状,对同一图像通过 γ 变换进行亮度调整,能够获得不同灰度直方图生成旋律线,观察图像变化对生成旋律线的影响。为缩减生成数据的长度,同时保证有足够的音符生成,便于实验结果的观察,将 c 的数值设为 16。图 8 为不同 γ 值下的 Lena 图像,图 9 为不同 γ 值下的图像灰度直方图,图 10 为生成的索引值,图 11 为灰度直方图生成的 MIDI 文件产生的乐谱。图 9 中点的纵坐标对应音的频率,数值高则出现在旋律中的音频率高。



图 8 不同 γ 值下的 Lena 图
Fig. 8 Lena picture with different γ values

由图 11 可以对不同灰度直方图生成的乐谱进行观察。通过图 9 与图 10 的比较可以看出,生成的旋律线条和原灰度直方图的趋势接近,达到了设计的目的,旋律线的起伏反映了灰度直方图的起伏趋势。阶调层次少且偏亮的图像在旋律线前端平直,生成的旋律线的起伏少、变化单一,旋律中的音多出现在低音部分。图像层次明显且灰度直方图有较大变化的图像能生成起伏较大的旋律线。为生成富有变化的旋律线,需要选择层次丰富的数字图像,阶调层次丰富的图像生成的旋律线会有更多的变化,适合用作旋律的生成。通过聆听生成的旋律,也能对图像明暗变化的趋势进行判断。对于两幅数字图像,在生成旋律设置参数固定的情况下,若旋律接近,则证明两幅图像具有相似的灰度直方图。

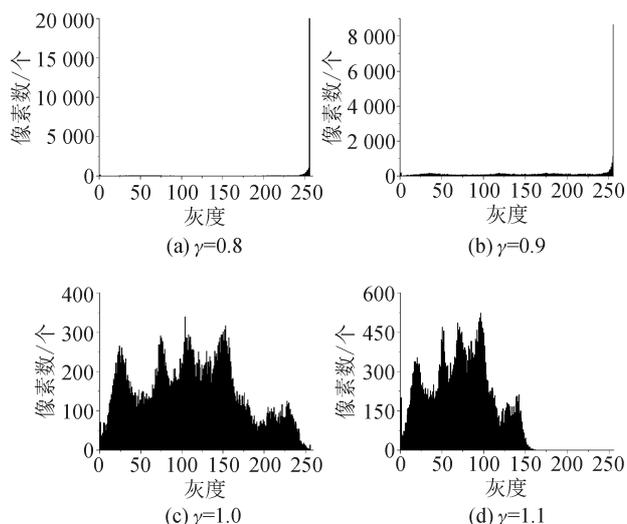


图 9 不同 γ 值图像的灰度直方图
Fig. 9 Histogram of pictures with different γ values

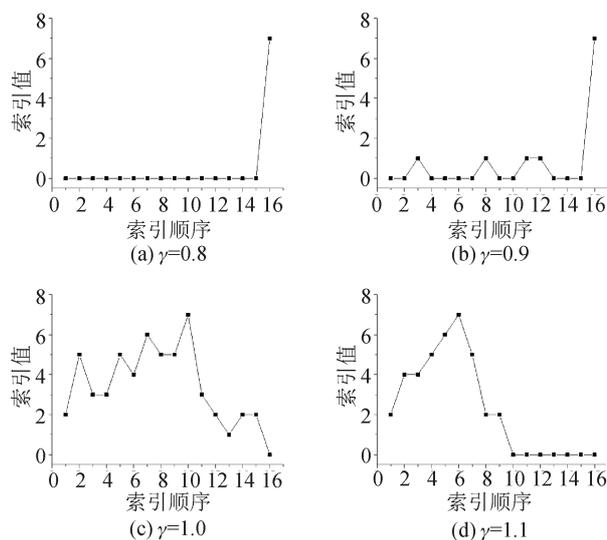


图 10 不同 γ 值图像旋律线的变化
Fig. 10 Melody line with different γ values



图 11 由不同灰度直方图生成 MIDI 文件的乐谱
Fig. 11 Score generated by MIDI file

3.2 不同音阶的生成结果与分析

图 8(c) 的细节最为丰富,生成的旋律线有最大的起伏,分别选择 C 大调自然音阶与三和弦构成音对图 8(c) 进行处理生成乐谱,结果如图 12 所示。



图 12 不同音阶组合生成的旋律乐谱

Fig. 12 Staff of different scale combinations

通过对图 12 中生成乐谱的观察,发现图 12(a) 中使用 C 大调自然音阶产生的旋律,由于相邻的音程关系不一定和谐,旋律生成的随机性大,能贴合地反映灰度直方图变化的趋势。图 12(b) 使用三和弦构成音产生的旋律更为和谐,适宜用于和弦琶音的生成。

4 结论

本文主要研究了基于 LabVIEW 数字图像灰度直方图生成音乐旋律的算法,通过分析数字图像灰度直方图与音乐旋律之间的关系,将给定的数字图像的灰度直方图转化为旋律,建立了音乐旋律算法。

1) 基于音乐旋律生成原理,分析数字图像灰度直方图与音乐旋律的关系,建立了基于 LabVIEW 数字图像灰度直方图生成音乐旋律的算法。以印刷中标准 Lena 图为例,对数字图像灰度直方图生成音乐旋律的算法进行验证,分析音乐旋律效果,得到了较为和谐的音乐效果,为其在纸媒中的应用奠定了基础。

2) 基于 MIDI 文件生成原理,将音乐旋律算法转换为 MIDI 文件,通过音乐编辑软件实现在电脑中进行播放,完成音乐旋律算法的验证。

3) 探讨了图像灰度直方图中各灰度级像素和音乐频率表中索引的范围关系,考虑音乐和弦生成原理、文件格式转换等要素,对数字图像灰度直方图生成音乐旋律的算法进行了修正。

参考文献:

[1] 司占军,李文霞,顾翀. 增强现实在印刷品中的应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(19):125-129.
SI Zhanjun, LI Wenxia, GU Chong. The application of augmented reality in printed matter [J]. Packaging En-

gineering, 2014, 35 (19): 125-129.

- [2] DAYANG R A R, WANNISA M, SUZIAH S. Fun learning with AR alphabet book for preschool children [J]. Procedia Computer Science, 2013, 17: 211-219.
- [3] 王雨,王英,王恒,等. 基于增强现实技术的机械原理实验教学系统设计[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(11): 109-112.
WANG Yu, WANG Ying, WANG Heng, et al. Design of mechanical theory experimental teaching system based on augmented reality technology[J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36 (11): 109-112.
- [4] ORDÓÑEZ A, ALCAZAR V, RENDON O M C, et al. Towards automated composition of convergent services: a survey [J]. Computer Communications, 2015, 69: 1-21.
- [5] SINCLAIR G, TINSON J. Psychological ownership and music streaming consumption[J]. Journal of Business Research, 2017, 71:1-9.
- [6] 温展力. 莫扎特《音乐骰子游戏》与约翰·凯奇《变之音乐》比较研究[J]. 黄钟(武汉音乐学院学报), 2016, (3):38-47.
WEN Zhanli. Comparative study of Mozart's musikalisches würfelspiel with John Cage's music of changes[J]. Huangzhong (Journal of Wuhan Conservatory of Music), 2016, (3):38-47.
- [7] 黄志方,申林. 穿戴式健康装置的算法作曲方法[J]. 复旦学报(自然科学版), 2019, 58(4):515-520.
HUANG Chih Fang, SHEN Lin. The algorithmic composition methodology for health using wearable device [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2019, 58(4):515-520.
- [8] 戴永冰. 随机性在算法作曲中的实践意义与审美价值[J]. 当代音乐, 2017, (10):92-95.
DAI Yongbing. The practical significance and aesthetic value of randomness in algorithmic composition [J]. Modern Music, 2017, (10): 92-95.
- [9] 恩斯特·托赫(奥). 旋律学[M]. 顾耀明. 译. 北京: 人民音乐出版社, 1984: 12-62.
- [10] 张红,刘媛. 包装设计中色彩的音乐美[J]. 包装工程, 2010, 31(8):78-79, 90.
ZHANG Hong, LIU Yuan. Music beauty of color in packaging design [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(8): 78-79,90.
- [11] 汪子俞,夏光宇. 流行歌曲自动旋律写作与伴奏编配系统[J]. 复旦学报(自然科学版), 2019, 58(4):521-529.
WANG Ziyu, XIA Gus. A framework for automated pop-song melody generation with piano accompaniment arrangement[J]. Journal of Fudan University (Natural

- Science), 2019, 58(4):521-529.
- [12] 张燕,张二虎. 图像逆半色调技术研究[J]. 西安理工大学学报, 2017, 33(3):282-289, 315.
ZHANG Yan, ZHANG Erhu. A review of inverse halftoning techniques[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2017, 33(3):282-289, 315.
- [13] 史静,朱虹. 基于上下文信息的自适应场景分类算法[J]. 西安理工大学学报, 2018, 34(3): 344-348.
SHI Jing, ZHU Hong. An adaptive scene classification algorithm based on contextual information[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2018, 34(3): 344-348.
- [14] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 58-59.
- [15] 于淼淼,郑元林,廖开阳,等. 基于视觉感知高度相关的图像质量评价[J]. 西安理工大学学报, 2019, 35(2): 224-233.
YU Miaomiao, ZHENG Yuanlin, LIAO Kaiyang, et al. Image quality evaluation based on high correlation of visual perception[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2019, 35(2):224-233.
- [16] 艾裕丰,赵敏,张琪,等. 基于亚像素边缘的棋盘格的角点检测[J]. 西安理工大学学报, 2019, 35(3): 333-337.
AI Yufeng, ZHAO Min, ZHANG Qi, et al. Corner detection of checkerboard based on sub-pixel edge[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2019, 35(3):333-337.
- [17] 柏西·该丘斯(美). 和声学[M]. 缪天瑞,译. 北京: 人民音乐出版社, 1984: 32-40.
- [18] 蒋萍花. 基于 LabVIEW 的标准 MIDI 文件的实现[J]. 电声技术, 2016, 40(2):32-36.
JIANG Pinghua. Compose standard MIDI file with LabVIEW [J]. Audio Engineering, 2016, 40(2): 32-36.
- [19] 张金凤,刘昕. 基于高低帽变换的优化边缘检测算法研究[J]. 西安理工大学学报, 2019, 35(3): 373-377.
ZHANG Jinfeng, LIU Xin. Research on optimized edge detection algorithm based on high and low cap transform[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2019, 35(3): 373-377.

(责任编辑 周 蓓)