

基于知识图谱的东方音乐可视化教育研究与应用^{*}

赵维平¹, 孙 宁², 杨晓春³, 郑国真⁴

(1. 上海音乐学院音乐学系, 上海 200031; 2. 上海音乐学院音乐声学艺术重点实验室, 上海 200031;
3. 上海成趣信息科技有限公司, 上海 200001; 4. Adamant Information Technology, 香港 999077)

摘 要:针对当前东方音乐教育的现状及问题, 分析了可视化教育的基本概念和设计原则, 介绍了知识可视化的表现形式和实现方法, 解释了利用数据处理的自然语言处理技术构建知识图谱的方法。以古谱教育为例, 提出利用古谱及古文化知识图谱实现可视化教育的方法, 介绍了知识图谱应用于教学的典型案例。结果表明, 知识图谱通过信息及知识可视化方式, 为古谱及古文化教育提供了技术支持。

关键词:知识可视化; 知识图谱; 东方音乐教育; 可视化教育; 自然语言处理

中图分类号:G642

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2018.Suppl(1).012

Oriental music visual education based on knowledge graph

ZHAO Wei-ping¹, SUN Ning², YANG Xiao-chun³, ZHENG Guo-zhen⁴

(1. Department of Music, Shanghai Conservatory of Music, Shanghai 200031;
2. Shanghai Key Laboratory for Art of Musical Acoustics, Shanghai Conservatory of Music, Shanghai 200031;
3. Shanghai AchieveFun Info Tech Co., Ltd., Shanghai 200001;
4. Adamant Information Technology, Hong Kong 999077, China)

Abstract: Based on the current status and problems of contemporary oriental music and culture education, we analyze the basic concepts and design principles of visual education, introduce presentation forms and implementation methods of knowledge visualization, and explain the methods of constructing knowledge graph using data processing and natural language processing techniques. We propose a visual education approach using ancient scores and culture knowledge graph, and depict the typical cases of knowledge graph used in teaching. The results show that knowledge graph can provide feasible technical support for ancient music scores and ancient culture education through information and knowledge visualization methods.

Key words: knowledge visualization; knowledge graph; oriental music education; visualization education; natural language processing

1 引言

随着知识可视化理论和方法的发展, 教育者们积极使用可视化教育方法提高教育质量。通过使用计算机, 教育者可以将抽象数据信息转化为可视

化信息, 增强学生快速识别抽象信息的认知过程, 以提高学生的学习能力。当前东方音乐教育采用传统教育方法, 尚未利用计算机等技术手段实现可视化教育。本文从可视化教育的基本概念和设计原则入手, 介绍了知识可视化的表现形式和实现方法。针对当前东方音乐教育中古谱古文化教育的

^{*} 收稿日期: 2018-07-25; 修回日期: 2018-09-20
基金项目: 上海音乐学院 2016“中国音乐史高峰团队”项目
通信作者: 杨晓春(janeyungxc@hotmail.com)
通信地址: 200001 上海市黄浦区山东中路 311 号 5 楼上海成趣信息科技有限公司
Address: Shanghai AchieveFun Info Tech Co., Ltd., 5F, 311 Shandong Middle Rd, Huangpu District, Shanghai 200001, P. R. China

现状和问题,提出利用古谱及古文化知识图谱实现可视化教育,解释了利用数据分析和自然语言处理技术生成古谱及古文化知识图谱的方法,详细阐述了用知识图谱实现音乐教育可视化的具体例子。

2 当前东方音乐教育的现状及问题

当今大学的东方音乐教育中,古谱及古文化教育具有重要地位。古谱及古文化教育主要具有以下三个意义:(1)帮助学生了解古谱保留古代音乐价值的作用,启发传统音乐的研究;(2)帮助学生了解我国的音乐研究,为其他国家尤其是日本传统音乐的研究提供具有参考性价值的内容;(3)积极启发学生了解历史的、今天的中国和其他亚洲音乐间的交流、相互影响与受容的情况。

目前存在一些问题是,教学资料单一,教学方法单一,无法吸引学生的学习和研究兴趣,本文提出使用日益发展的可视化教育方法促进古文化教育的发展。

3 可视化教育的介绍及具体应用

3.1 可视化教育的基本概念

可视化是充分利用人的眼-脑系统的速度最快、频带最宽的功能传递、处理和理解各种信息。可视化是指用于创建图形、图像或动画,以便交流沟通信息的技术和方法。历史上的洞穴壁画和埃及象形文字就是可视化的一个典型应用,如今可视化被应用到不同的领域,如工程、医学、科学教育及互动多媒体等^[1]。可视化将事物转化为形象化的视觉表征形式。

可视化教育通过可视化教育技术,使学生观察、体验、发现、干预和利用生动信息化了的知识模型,透过现象探索本质。可视化教育包括以下方面^[2]。

(1) 感知可视化:使学生对未见未闻的事物得到形象化感知,帮助学生观察和体验各类宏观与微观事物存在和变化的实质细节;

(2) 想象可视化:将想象思维的基础对象,如事物存在和变化的特征制成可视化图像,对学生进行“有像可想”的想象力训练。

(3) 知识可视化:用凸显内涵要素的抽象或具体形态的外延进行可视化,帮助学生理解和掌握概念、规律和方法;

(4) 推理可视化:利用计算机软件可以与人实

时交互的功能,例如提供反馈信息,实时干预、引导和约束学生的推理思想过程,帮助学生训练推理思想方法和能力;

(5) 思想可视化:将基本理论及其应用形象化,帮助学生理解抽象理论,如教学初等数学中的数形结合、变换和极限,可以采用此方法;

(6) 观念可视化:将支撑学科理论基础的观念用多媒体资料加以可视化,帮助学生理解学科知识的先验假设;

可视化教育可帮助老师减轻备课负担,也可激发学生的学习兴趣。可视化教育的优点在于:

(1) 交互性:实现了教学动画的交互性,激发学生的自主学习观察能力,促进学生的学习;

(2) 形象性:可视化教育的主要方法在于通过形象的教学演示,形象化抽象的知识概念和演变过程,有助于学生理解知识点和加深印象;

(3) 自主性:学生可以利用可视化教学资源自主学习,反复学习不易理解的知识点,最终达到学习目标。

3.2 可视化教育的设计原则

可视化教育以技术为基础,实现教育的目的。在可视化教育的设计过程中,必须遵循一般教学设计的基本原则^[2],即教育学原则、心理学原则和美学原则。

可视化教学应该遵循的基本教育学原则是^[3]:

第一,科学性:课件的内容概念准确、推导严密、表述严谨、引用资料正确。制作课件,要遵从客观性原则、思想性原则、最优性原则、整体性原则、发展性原则等;

第二,艺术性:通过图画、音乐等艺术手段可以调动学生进入积极和愉快的学习状态;

第三,学习体验好:学生的学习体验是主观的,良好的学习体验应该是学生愿意学习,以较高的学习效率达成学习目标;

第四,体现素质教育的思想:通过可视化教育方法,启发学生思维,促使学生探索和发现规律,从而培养学生的科学素质和创造能力。

心理学研究表明,人类的学习过程首先会通过自身的感觉器官(即眼、耳、舌、鼻以及身体等)将外界的信息传递到大脑,大脑再综合分析外界信息,最终获得知识。因此,在学习过程中使用听觉和视觉是非常重要的。在可视化课件的设计中合理使用色彩可以美化人机界面,提高学习体验。

可视化教育设计应该基于以下的美学原则:

(1) 界面设计即视觉设计应该能吸引学习者注

意力,同时美观、清晰、合理、简洁、易于使用且一目了然。设计中需要根据既定的信息架构,合理分配不同信息在用户界面上的醒目程度;

(2)合理使用色彩,利用色彩对不同的信息做出相应的标注,加快查找信息的速度;

(3)设计标准一致,也就是界面上的按钮、文本及相关的控件设计保持一致性,秉承美学上的连贯性原则;

(4)信息组织得当,重要信息最突出,信息的排列方式从主题到详细内容一一排列,信息在合理的前提下尽可能详细,常用的控件出现在最容易找到的地方;

(5)交互性设计主要致力于减少学习者的操作次数。

3.3 知识可视化的表现形式和实现方法

阐述知识可视化之前,我们来看数据、信息与知识的定义。Keller 等^[4]认为数据是符号或单独和不解释的事实,数据表示与其他数据无关的事实或事件陈述。数据简单地存在并且在其存在之外本身没有意义。它可以以任何形式存在,可用或不可用,它本身没有意义。

信息是通过关系连接和实用语境进行解释并被赋予意义的数据,包括有用的和无用的意义。知识就是信息,这些信息经过认知处理并融入现有的人类知识结构。知识是动态的,其结构不断变化以应对任务情况的启示^[4]。信息和知识之间最重要的区别在于信息在大脑之外(有时称为“世界知识”),而知识在大脑里面^[4]。Tergan 等^[5]认为,知识可视化是一个研究领域,它研究视觉格式代表知识的力量。它旨在支持生成、表示、构建、回收、分享和使用知识的认知过程。Eppler 等^[6]认为,知识可视化领域研究视觉表征在提高两人或者多于两人之间的知识传播和创新中的作用,知识可视化不仅用于传达事实信息,而且用于传输见解、经验、态度、价值观、期望、观点、意见和预测等信息,并以这种方式帮助他人正确地重构、记忆和应用知识。知识可视化应用视觉表征手段,也就是以图解的手段和方法表示人们的个体知识,这些表示方法需要认知语言学、计算语言学、知识科学、人工智能和其他学科提供强力支持。

从信息科学的视角,通过研究知识的形成和知识表达的方法,最终可以形成知识的数字化提取、分析及管理的技術。教育技术是为了促进学习而对教育学习过程和资源进行设计、开发、应用、管理以及评价的理论和实践,可以改善教学过程,优化

教学效果。知识可视化可用来提高教育技术,优化教学效果。举例说明,知识可视化可以为教学设计自动化打下良好的基础,教学中,我们经常遇到构建概念体系的工作,例如要构建科普文章中的概念及关系,理清小说中的人物及其关系,利用计算机自然语言处理等方法可以自动发掘文本信息中隐含的概念体系,为教学设计自动化打下基础。

随着知识可视化技术的不断发展,推动了可视化技术在教育领域的发展。国内外教育学者探索提高教学质量,提升教学效率的方法。美国在线教育网站可汗学院构建了数学学科的知识地图^[7],2016年8月我国在线教育公司伟东云教育发布了知识地图产品“寻知图1.0版本”^[8]。

传统教学方法中,无法帮助学生理解抽象的概念,借助于可视化教学技术,可以帮助学生把握知识的整体框架,理解知识节点间的相互联系,理解较为抽象的概念和难理解的知识点,促进思维的发展和发散,培养学生由浅入深和循序渐进的科学思维习惯,提高学生的认知能力和学习能力。通过可视化促进知识的有效传输和创新,需要回答以下两个问题^[9],第一,用来可视化的知识类型包括是什么的知识、为什么的知识、怎么做的知识、在哪儿的知识以及关于谁的知识。第二,可视化知识的目的是通过视觉手段共享或者传播知识、创造(发现和组合)知识、学习知识、编订知识、发现知识以及评价和评估知识。明确以上两个问题后再确定具体实现知识可视化的方法。

3.4 知识可视化的方法

下面从认识论的角度阐释知识的层次,钟义信^[10]认为,知识是认识论范畴的概念。因此,知识是相对于认识主体而存在的,没有认识主体的存在,就没有知识的存在。从认识论的程序上考虑,钟义信^[11]解释,在形式、内容和效用三要素之间,形式是最先被观察或感受到的要素,内容是要透过形式的分析才能进一步感受到的要素,效用则是要针对一定的形式、内容和主体才能表现出来的要素。根据以上描述,信息科学将知识划分为形态性知识、内容性知识和效用性知识。钟义信^[11]阐述道,一切知识,无论是数学、物理学、化学、天文学、地理学、生物学的知识,还是工程科学的知识,它们所表达的“运动状态和状态变化的规律”必然具有一定的外部形态,与此相对应的知识可以称为“形态性知识”;知识所表达的运动状态和状态变化的规律必然具有一定的逻辑内容,与此相对应的知识可以称为“内容性知识”;知识所表达的运动状态和

状态变化的规律必然对认识主体呈现某种价值,与此相对应的知识可以称为“效用性知识”。如表 1 所示,针对不同类型的知识,可以采用不同的可视化形式。

Table 1 Various ways of knowledge visualization

表 1 知识可视化的各种方法

知识分类	知识内容的构建方法	具体的可视化案例
形态性知识	外观相似	画图、草图
内容性知识	关联关系	概念图、思维导图
效用性知识	人为的约定俗成	视觉隐喻

关于利用视觉隐喻的约定,举例说明,可以利用树不同部分的关系,如树根、树干、树枝等的关系,比喻某事物概念与概念之间的关系。通常,通过加工提炼信息可直接得到效用性知识,在一些情况下通过经验推理或理论演绎可间接得到效用性知识。

知识图谱是知识可视化工具的一种,知识图谱基于语义网络(Semantic Networks)。在心理学中,语义网络被定义为词语或概念的语义相似性或相关程度。Fisher^[12]在 1990 年将语义网络定义为节点和连接组成的网络,有连接词但不局限在层次结构上。

语义网络以概念和有意义的、不受限的连接词为基础,形成基本的实例或命题。

知识可视化的实现方法借鉴传统的四步实验法,如下所述:

步骤 1 构建理论模型和相应的算法;

1. 确定知识可视化的目的,本文为利用古谱及古文化知识图谱介绍古代音乐史教学的内容;
2. 基于知识特点,选取内容性知识;
3. 基于内容性知识的特点,选取知识图谱作为可视化方法;
4. 根据相关建立知识图谱的方法,确定具体的实现方法。

步骤 2 开发实现相应理论的软件,包括需求分析、软件设计、软件开发及测试等过程;

步骤 3 应用理论和工具;

步骤 4 评估基于步骤 1 和步骤 2 建立的系统,调整步骤 3。

4 在古谱教育中利用知识图谱实现可视化教育

如前文所述,在古谱教育中,本文提出使用知识图谱实现可视化教育。利用图形显示古谱及古文化知识发展进程与结构关系,用可视化技术描述

古谱及古文化相关知识资源及其载体,挖掘、分析、构建和绘制显示相关文化知识及它们之间的联系,可以展示其核心结构、发展历史以及整体架构。通过将人类认知信息转换为数字信息和易理解的图的方式,利用计算机处理方法、互联网相关技术以及自然语言处理技术为东方音乐教育与研究提供技术支撑和新的思路与方法,同时拓展知识图谱的应用领域。

4.1 生成古谱及古文化知识图谱的方法

知识图谱的构建流程包括建立知识图谱模式、获取数据和抽取信息、融合知识、集成知识库模式与数据,如图 1 所示。

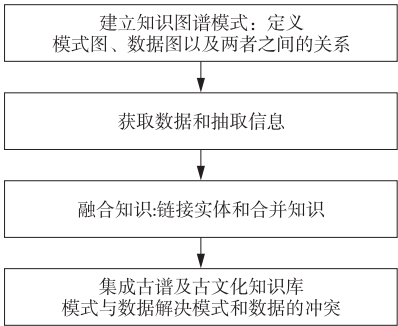


Figure 1 Procedure of constructing the ancient score and culture knowledge graph

图 1 创建古谱及古文化知识图谱的流程

知识图谱由模式图、数据图及两者的关系组成。模式图描述了人类知识领域的概念层面,强调概念及概念关系的形式化表达。模式图中节点是概念实体,边是概念间的语义关系。数据图描述了物理层面的客观事实。数据图中节点包括模式图中的实体和描述性字符串,数据图中的边是具体事实的语义描述^[13]。概念是抽象的,指比较普遍的想法、观念或充当命名实体、事件或关系的范畴一类的实体。实体是指具有可区别性且独立存在的某种事物。关系用来连接两个实体,刻画它们之间的关联。属性指对象具有的属性、特征、特性、特点以及参数。属性值指对象指定属性的值。每个属性-属性值对对用来刻画实体的内在特性。本文以东方音乐研究中的古谱历史和乐谱乐律为例,描述知识图谱的建立方法。

(1) 创建古谱及古文化知识图谱的模式。

根据古谱专业知识,我们定义古谱知识图谱 G 由古谱模式图 G_s 、古谱数据图 G_d 以及之间的关系 R 组成,即古谱知识图谱 $G = \langle G_s, G_d, R \rangle$,古谱模式图 $G_s = \langle N_s, P_s, E_s \rangle$,其中 N_s 表示图中的类节点, P_s 表示属性边, E_s 表示由多条边连接的两个类之间的关系,数据图 $G_d = \langle N_d, P_d, E_d \rangle$, N_d 表

示实例节点和字符节点, Pd 表示属性边, Ed 表示由多条边连接的两个节点之间的关系^[14]。每条边和边两边的节点表示主语、谓语和宾语。图 2 描述了一个数据图的例子。

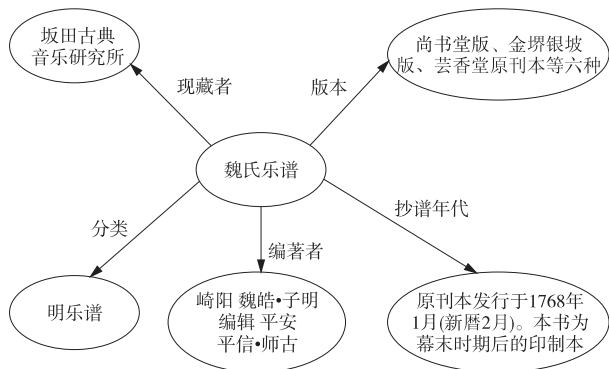


Figure 2 Data graph of Weishi notation

图 2 魏氏乐谱数据图

数据图指对应于模式图的具体实例。对于《魏氏乐谱》,其属性有谱名、分类、编著者、年代、版本、印刷法、现藏和题解等,根据图 2 可以获得相应的属性值。对于具体的一首乐谱,如《青玉案》,其属性有谱名、分类、传谱人、抄谱年代、曲调、材质及印刷、规格、现藏和题解等。古文化概念的属性有种类、朝代,种类的属性值包括音乐,文学,书法,绘画,朝代的属性值为唐朝、宋朝和明朝等。目前构建的古谱知识图谱基于古谱库和古文化相关数据。这两个库高度相关,利用知识图谱,可以建立数据之间的关联,为古谱研究提供支持。

(2) 获取数据和抽取信息。

古谱数据来源于现有的图片及文字以及互联网上的相关图片及文字。对于图片内容,可采取光学字符识别 OCR (Optical Character Recognition) 与 Object Detection (对象识别) 技术进行辨识取样。对于文字数据,可通过中文词汇表与分词器将数据切割与细分到一个词为单位,基于有向无环图 DAG (Directed Acyclic Graph) 和使用 Viterbi 算法套用隐马尔科夫模型 HMM (Hidden Markov Model) 模型处理。

文本抽取目标是从古谱及古文化相关的文字信息中获取词汇,具体实现过程如下:

第一步,首先利用语句迭代器将古谱及古文化相关文本划分为可以处理的片段。语句迭代器对处理文本的长度无限制;

第二步,语句迭代器输出文本片段后,利用分词器 (Tokenizer) 将文本进一步切分为单词;

第三步,基于切分后的单词,为每份文档生成词汇表。重要的词及其统计信息都存储在词汇表

缓存中。区分重要和非重要的词的基本思路是:只出现一次或者出现少于五次的词较难学习,将其视为无益的噪声信号。词汇表缓存保存着 Word2vec 和词袋模型等方法所需的元数据。Word2vec 生成词向量,亦称为神经词向量。词向量可以长至包含几百个系数,而这些系数帮助神经网络预测一个词在任何特定语境中的出现概率,例如其在另一个特定的词之后出现的概率。

抽取信息,即从各种类型的数据源中提取出实体或概念、属性以及实体间的相互关系,形成本体化的知识表达。抽取信息首先需要进行实体抽取,也叫命名实体识别 (Named entity recognition, 又译「专名识别」),主要是从大量文字数据中自动抽取命名实体,实体识别是信息抽取中最关键和基础的部分,会极大影响后续知识的获取效率和质量。抽取实体后,还需要提取出实体之间的关联,才可以得到语义信息,同时还需要获得特定实体的属性信息,以获得完整的数据信息^[15]。

(3) 融合知识: 链接实体和合并知识。

获取实体、关系以及实体属性信息以后,为消除概念歧义、避免冗余和错误信息,需要实现实体链接。实体消歧 (entity disambiguation) 方法用于解决同名实体产生歧义的问题。共指消解 (Coreference Resolution) 用于解决多个指称项对应于同一实体对象的问题^[15]。比如魏氏乐谱、魏氏乐和明乐均指同一概念,即魏氏乐谱,是明末海商魏之琰将明代的一些乐曲传到日本后,由其四世孙魏皓对外传授并编辑出版的诗词乐谱。

构建知识图谱时,需要从企业或者机构自有的数据库获取知识输入。采用资源描述框架 RDF 作为数据模型,将关系型数据库的数据转换成 RDF 的三元组数据,可将结构化的数据融入到知识图谱中。可采用 W3C 在 2012 年推出的映射语言标准 Direct Mapping,将关系数据库表结构和数据直接输出为 RDF 图,在 RDF 图中所用到的用于表示类和谓词的术语与关系数据库中的表名和字段名保持一致^[15]。

从多源数据抽取数据会出现数据重复或者冲突问题,为解决此问题,建立数据可信度模型。基于数据来源以及在不同来源中出现的频率对数据可信度评分,根据可信度评分对数据项进行排序,根据规则将数据项增加至相应属性值字段中,最终所有数据源都会被正规化后存入索引数据库中。

(4) 集成知识库模式与数据。

以上的步骤获得了事实表达,基于(1)的模式,

就可以获得结构化和网络化的知识体系。在建立模式过程中,当出现数据冲突,或者无法确认数据来源质量时,由古谱及古文化专家人工评定,确定最终结果。

4.2 基于古谱知识图谱的问答引擎

知识图谱创立完成后,就可以基于知识图谱建立问答引擎。本文选择基于模板的问答方法建立问答引擎,因为此方法对词汇和句法具有较好的可扩充性,适合面向专业领域的知识图谱的问答。引擎结构如图 3 所示。

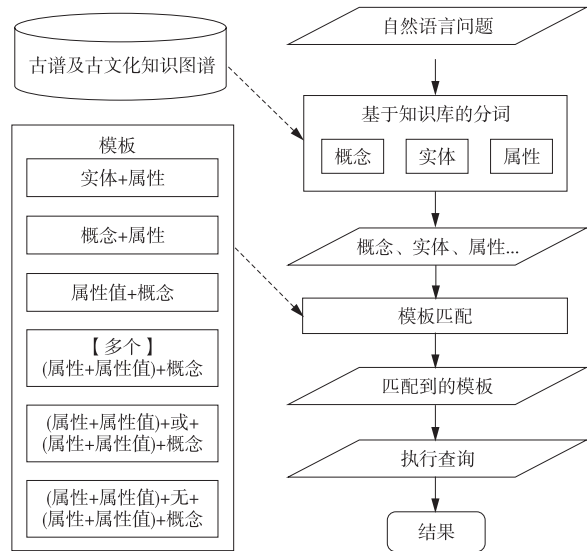


Figure 3 Description of quiz engine architecture based on the ancient score and culture knowledge graph

图 3 基于古谱及古文化知识图谱的问答引擎架构描述^[14]

如图 3 所示,输入自然语言表示的问题,引擎可输出相应的答案。语义问答实现包括以下部分:
第一,基于古谱及古文化知识图谱的分词。采用 HMM 实现分词与实体识别,同时确定词的类型,即判定词是概念、实体还是属性。

第二,模板匹配。基于预先定义的古谱及古文化领域的语义模板,匹配问题和知识图谱的子图。模板“实体+属性”表示知识图谱的一个节点和一条边。

模板匹配过程如下,首先,根据解析的实体和类型确定匹配的候选模板;其次,判断候选模板与候选实体是否构成知识图谱的子图,在多个候选模板中确认匹配率最高的模板。确定模板后,翻译模板为语义网络上的标准查询语言 SPARQL,在数据库上执行获得结果。使用多模式匹配和倒排索引可快速找到一些候选的模板集合,这个模板集合大小相对原先整个模板集合来说相当小,然后在这个小集合上进行常规的模式匹配^[16]。

举例如下:

我们定义,概念有古谱,实体有魏氏乐谱,属性有分类、性质、调名、演奏乐器、版本和印刷法,对应于属性具体的描述为属性值,可以得到以下的匹配实例:

魏氏乐谱的版本有哪些? 魏氏乐谱包含哪些曲调? 魏氏乐谱乐曲是什么性质? 这三个问题匹配实体+属性模板;

古谱有哪些分类? 这个问题匹配概念+属性模板;

宫调名为道宫和双角调的古谱有哪些? 这个问题匹配属性值+概念模板;

宫调名为清平调,演奏乐器为琵琶的,印刷法为木刻本、版本为尚书堂版的古谱有哪些? 此问题匹配 [多个](属性+属性值)+概念模板;

宫调名为正平调或者双调的古谱有哪些? 此问题匹配(属性+属性值)+或+(属性+属性值)+概念模板;

宫调名为正平调且演奏乐器不是琵琶的古谱有哪些? 此问题匹配(属性+属性值)+无+(属性+属性值)+概念模板。

5 利用古谱及古文化知识图谱实现教育可视化的方法

基于以上的方法,根据教学需求,针对唐宋明清近现代不同时期不同类型的古谱,可创建不同的模式库和数据库,生成相应的知识图谱,基于知识图谱不断完善问答引擎,为学生提供学习和研究的工具。

6 结束语

本文描述了利用知识图谱在古谱及古文化教育中实现可视化的方法,基于东方音乐教育方向介绍了知识图谱的构建方法,解释了基于知识图谱的问答引擎。结果表明,知识图谱通过信息及知识可视化方式,为古谱及古文化教育提供了可行的技术支持。基于相应的经验和教训,未来将会在更多的教育领域使用知识图谱及其他可视化工具实现具体的可视化教育。

参考文献:

[1] Wikipedia. Visualization_(graphics)[EB/OL]. [2018-04-21]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Visualization_\(graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Visualization_(graphics)).

- [2] Gu Pei-di. Application of visualization technology in education[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2008. (in Chinese)
- [3] Zhang Chan-wen. Research on visualization of multimedia electromagnetics teaching [D]. Hunan: Hunan University, 2003. (in Chinese)
- [4] Keller T, Tergan S O. Visualizing knowledge and information: An introduction. knowledge and information visualization[M]. Berlin: Springer, 2005.
- [5] Tergan S O, Keller T, Burkard R A. Integrating knowledge and information: digital concept maps as a bridging technology[J]. Information Visualization, 2006, 5(3): 167-174.
- [6] Eppler M J, Burkard R A. Knowledge visualization: Towards a new discipline and its fields of application[M]. Encyclopedia of Knowledge Management. Hershey, PA: IGI Global, 2006.
- [7] Knowledge Map [EB/OL]. [2018-04-21]. <https://www.khanacademy.org/exercisedashboard#>.
- [8] Xunzhitu[EB/OL]. [2018-04-21]. <http://xunzhitu.com/>. (in Chinese)
- [9] Zhao Guo-qing, Huang Rong-huai, Lu Zhi-jian. Theory and methodology of knowledge visualization[J]. Open Education Research, 2005, 11(1): 23-27. (in Chinese)
- [10] Zhong Yi-xin. Knowledge theory: Fundamentals[J]. ACTA Electronica Sinica, 2001, 29(1): 96-102. (in Chinese)
- [11] Zhong Yi-xin. A framework of knowledge theory: Toward a unified theory of information, knowledge and intelligence [J]. Engineering Science, 2000, 2(9): 50-64. (in Chinese)
- [12] Fisher K M. Semantic networking: The new kid on the block [J]. Journal of Research in Science Teaching, 1990(10): 1001-1018.
- [13] Yuan Kai-qi, Deng Yang, Chen Dao-yuan, et al. Construction techniques and research development of medical knowledge graph[J/OL]. [2018-04-21]. <http://www.arocmag.com/article/02-2018-07-068.html>. (in Chinese)
- [14] Ruan Tong, Sun Cheng-lin, Wang Hao-fen, et al. Construction of traditional Chinese medicine knowledge graph and its application[J]. Journal of Medical Intelligence, 2016, 37(4): 8-13. (in Chinese)
- [15] Liu Qiao, Li Yang, Duan Hong, et al. Knowledge graph construction techniques[J]. Journal of Computer Research and Development, 2016, 53(3): 582-600. (in Chinese)
- [16] Zhang Jun-lin. An efficient matching method for dialog templates in chatting robots [EB/OL]. [2018-04-21]. <https://blog.csdn.net/malefactor/article/details/52166235>. (in Chinese)
- 学, 2008.
- [3] 张昌文. 多媒体电磁学教学可视化研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2003.
- [8] 寻知图[EB/OL]. [2018-04-21]. <http://xunzhitu.com/>.
- [9] 赵国庆, 黄荣怀, 陆志坚. 知识可视化的理论与方法[J]. 开放教育研究, 2005, 11(1): 23-27.
- [10] 钟义信. “知识论”基础研究[J]. 电子学报, 2001, 29(1): 96-102.
- [11] 钟义信. 知识论框架——通向信息-知识-智能统一的理论[J]. 中国工程科学, 2000, 2(9): 50-64.
- [13] 袁凯琦, 邓扬, 陈道源, 等. 医学知识图谱构建技术与研究进展[J/OL]. [2018-04-21]. <http://www.arocmag.com/article/02-2018-07-068.html>.
- [14] 阮彤, 孙程琳, 王昊奋, 等. 中医药知识图谱构建与应用[J]. 医学信息学杂志, 2016, 37(4): 8-13.
- [15] 刘峭, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.
- [16] 张俊林. 聊天机器人中对话模板的高效匹配方法[EB/OL]. [2018-04-21]. <https://blog.csdn.net/malefactor/article/details/52166235>.

作者简介:



赵维平(1957-), 男, 四川乐山人, 博士, 教授, 研究方向为中国古代音乐史和东方音乐。E-mail: weiping-z@163.com

ZHAO Wei-ping, born in 1957, PhD, professor, his research interests include ancient Chinese music history, and oriental music.



孙宁(1981-), 女, 山东烟台人, 博士, 助教, 研究方向为电子音乐和数字媒体。E-mail: 29974728@qq.com

SUN Ning, born in 1981, PhD, assistant, her research interests include electronic music, and digital media.



杨晓春(1973-), 女, 四川广元人, 硕士, 工程师, CCF 会员(75874M), 研究方向为数据分析、机器学习和自然语言处理。E-mail: janeyungxc@hotmail.com

YANG Xiao-chun, born in 1973, MS, engineer, CCF member(75874M), her research interests include data analysis, machine learning, and natural language processing.

附中文参考文献:

- [2] 顾培蒂. 可视化技术在教育中的应用[D]. 北京: 北京师范大学