

基于数字孪生技术的广西布努瑶民间音乐活态传承与展示系统设计

黄俏奕

河池学院, 广西河池

DOI:10.62836/jer.v4n5.1007

摘要: 针对布努瑶民间音乐面临的传承主体断层、仪式语境剥离及“本真性”流失等困境, 本研究引入数字孪生技术, 构建了“音乐-场景-人”三位一体的活态传承与展示系统。文章首先剖析了该遗产的活态传承特征与濒危现状, 论证了数字孪生技术应用的可行性, 并设计了涵盖多模态数据采集、虚拟模型构建与系统集成等技术路线。系统架构融合虚拟展示、互动学习与创新创作三大核心模块, 实现了从“声音记录”到“文化语境再现”的跨越。应用案例表明, 该系统能有效还原布努瑶音乐的文化生态, 提升传承效率与传播广度, 为少数民族非物质文化遗产的数字化活态传承提供了可资借鉴的技术范式与实践路径。

关键词: 数字孪生; 布努瑶民间音乐; 活态传承; 三维建模; 交互展示系统

Living Heritage Transmission and Design of Display System for Guangxi Bunu Yao Folk Music Based on Digital Twin Technology

Qiaoyi Huang

Hechi University, Hechi, Guangxi

Abstract: In response to the challenges faced by the Bunu Yao ethnic folk music, such as the discontinuity of inheritance carriers, the detachment from ritual contexts, and the loss of “authenticity,” this study introduces digital twin technology to construct a “music-scenario-person” trinity system for dynamic inheritance and display. The study begins by analyzing the living transmission characteristics and endangered status of this heritage, demonstrates the feasibility of applying digital twin technology, and designs a technical route encompassing multimodal data

*基金项目: 2025年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目: 新媒体时代广西布努瑶民间音乐传播及发展研究(2025KY0702)。

本研究亦获以下项目支持:

河池市2024年哲学社会科学研究课题: 铸牢中华民族共同体意识视域下的刘三姐歌谣研究(D类)。

广西高校中青年教师科研基础能力提升项目: 桂西北地方剧种传承与发展研究(项目编号: 2022KY0587)

河池学院2024年度校级科研项目: 新媒体视角下广西少数民族音乐多元化传播路径与受众认同感研究(项目编号: 2024XJPT002);

河池市2024年哲学社会科学研究课题 河池市红色音乐文化赋能乡村全面振兴的价值与实现路径研究(D类)。

作者简介: 黄俏奕(1978-), 女, 壮族, 广西宜州人, 讲师, 硕士, 河池学院, 主要研究方向: 计算机应用、校园文化建设。

collection, virtual model construction, and system integration. The system architecture integrates three core modules—virtual exhibition, interactive learning, and innovative creation—achieving a leap from mere “sound recording” to the “reproduction of cultural context.” Application cases indicate that the system can effectively restore the cultural ecology of Bunu Yao music, enhance transmission efficiency, and broaden its dissemination scope, providing a referential technical paradigm and practical pathway for the digital living transmission of intangible cultural heritage among ethnic minorities.

Keywords: digital twin; Bunu Yao folk music; living heritage transmission; 3D modeling; interactive display system

1 引言

1.1 研究背景与意义

广西布努瑶民间音乐作为瑶族“无文字历史”的核心载体，不仅承载着该民族的历史记忆、生活智慧和艺术创造力，更深层地内化了族群的宇宙观与文化基因。它完全契合UNESCO《保护非物质文化遗产公约》（2003）定义的“依赖人、情境与实践的动态传承体系”，是典型的“活态文化遗产”。然而，随着现代化进程的加速，这一遗产正面临“本真性危机”与“整体性断裂”的双重挑战：一方面，传承人群老龄化（核心传承人平均年龄超65岁）导致“人-艺”纽带断裂，而“传男不传女”等的封闭性传承规则进一步加剧技艺断层；另一方面，传统的数字化保护手段多停留在数字音频录制与实物陈列的碎片化模式，无形中剥离了音乐与其赖以生存的祭祀场景、仪式行为的原生关联，陷入了Handler与Gable（1997）所批判的“情境缺失型本真性”困境。这些问题深刻暴露出传统保护方式在回应“本真性”与“整体性”保护原则时的局限性——单纯的记录与保存，实则将活态文化降维为孤立的“文化标本”。事实上，传承布努瑶民间音乐，远不止于保护一种音乐艺术形态，更是对一整个民族文化基因的系统性存续与激活[1]。

广西布努瑶民间音乐的活态传承困境，本质上触及了文化遗产保护领域的核心命题：当传统技艺脱离其原生语境，“本真性”与“整体性”如何维系？国际文化遗产学界对“本真性”

（Authenticity）的讨论早已超越“原物保存”的狭隘定义[2]，Handler与Gable（1997）指出，非遗的本真性并非静态的“原真性”（originality），而是动态的“情境真实性”（situational authenticity），其核心在于文化实践与历史语境、社区互动的持续关联。这一理论在布努瑶《密洛陀》史诗的传承中体现得尤为深刻：当古歌从祭祀仪式的火塘旁被抽离为舞台表演的片段时，其神圣性随之消解——歌师坚持演唱时必须面向东方（创世神话规定的神圣方位），正是“情境真实性”在身体实践层面的具象化表达。UNESCO《保护非物质文化遗产公约》（2003）进一步强调“整体性保护”原则，要求保护不仅包含技艺本身，还需延伸至其赖以存续的自然环境、仪式场景与社区认同网络。布努瑶铜鼓乐恰恰印证了这一原则的紧迫性：其“三六九”敲击法中的“天-地-人”节奏结构，本质上是对瑶族宇宙观的声学映射。若仅保存鼓谱而割裂其与祝著节祭典、山地农耕生态的关联，便如同截取河流的一段水纹而宣称掌握了整条江河——技术的存续无法替代文化的完整性，唯有在“音-景-人”共生的文化生态中，铜鼓的震动才能重新唤醒族群的集体历史记忆。“活态传承”在此应被理解为一种动态的、情境化的、以人为核心的文化延续过程。它强调文化遗产不是被封存的静态对象，而是在社区实践中不断被再创造、再诠释的生命体。其核心在于维持文化实践与特定社会、环境及意义系统的有机联系。

数字人文（Digital Humanities）的兴起

为突破上述困境提供了全新的理论与技术路径。Hayles (2002) 在《媒介物质性》中深刻指出, 数字技术并非价值中立的透明工具, 其本身即是一种能够“重构文化实践场域”的物质性载体, 通过为物理实体构建虚拟镜像, 实现精确的映射和动态的交互。在博物馆学领域, Pearce (2010) 提出的“虚拟策展”理论进一步阐明了数字平台通过“再语境化”过程, 能够让非遗从“静态展品”回归“动态实践”的潜能。数字孪生技术, 作为数字人文前沿技术集群的代表, 其文化意义在于它能够超越对文化遗产的简单“数字化复制”, 转而构建一个虚实映射、动态交互、持续演化的数字孪生体。这个孪生体不仅是物理世界的镜像, 更是一个可以模拟、分析、干预乃至创新的文化实验场, 为理解和实践“活态传承”提供了前所未有的可能性。

本研究提出的“音乐-场景-人”三位一体数字孪生框架, 正是对上述理论的系统性回应与技术化实践: 通过高精度映射音乐声学特征、仪式空间逻辑与传承人身体实践, 实现“音乐本体+文化场景+传承主体”三者间的动态联动与有机整合。这促使布努瑶民间音乐的传承范式发生根本性转变——从“标本式保存”转向“活态化延续”。该框架的构建, 既是对文化遗产学“整体性保护”原则的深刻技术实践, 也是对数字人文“人文主导技术”理念的具体落地, 旨在探索一条在数字时代维系并激活少数民族非物质文化遗产生命力的可行路径。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 数字孪生技术在文化遗产领域的应用研究

数字孪生技术自2003年由迈克尔·格里弗斯提出以来, 已逐步从工业制造延伸至文化遗产保护领域。然而, 当前的应用仍普遍存在“重器物、轻实践”的认知局限, 未能充分回应非物质文化遗产所强调的“活态性”与“整体性”保护原则[3]。这种局限本质上源于对“活态传承”理念的理解不足——活态传承不仅要求保存文化遗产的物质形态, 更强调维系其作为社会实践的动态过程, 即在

特定文化语境中通过人的实践不断再创造与再诠释的生命力。在国际层面, 诸如意大利“数字庞贝”项目、埃及金字塔与希腊帕特农神庙等虚拟修复工程, 虽在古建筑的高精度几何复刻方面成就显著, 却大多停留在静态遗存的视觉再现, 尚未深入构建“人-遗产-实践”之间的动态交互关系。在国内, 苏州园林、故宫太和殿等数字孪生模型同样侧重于建筑形制的物理还原, 缺乏对非遗行为流程、仪式语境与社会功能的系统映射, 难以支撑活态文化的延续与传承。这些案例反映出当前数字孪生应用仍多停留在“形态仿真”层面, 尚未充分实现其“文化意义”——即通过虚实融合、动态交互的模型, 重构文化遗产的实践场域与意义系统。在数字人文实践中, 虽已出现如武汉音乐学院“数智编钟虚拟演奏平台”、三江侗族建筑技艺数字化等探索性案例, 部分触及音乐类非遗的交互体验, 但其建模逻辑仍偏向单一要素的数字化呈现, 未能有效整合“场景-行为-文化语义”的有机联系。此类“碎片化”再现虽具备技术先导性, 却在方法论层面尚未实现对UNESCO所倡导的“整体性保护”理念的系统回应。

1.2.2 少数民族音乐数字化传承研究现状

国内少数民族音乐数字化研究多处于资源积累阶段, 收集和存储音乐资源, 算是对少数民族音乐的初步保护。但这些研究大多只记录了音乐的表面特征, 很少深入探讨音乐和文化、社会、生态之间的多维度关系, 用数字孪生技术系统地研究少数民族音乐活态传承的不多, 难以实现真正意义上的活态传承。究其根本, 在于未能将“活态传承”理解为一种以人为核心、以实践为载体的文化延续过程, 而数字孪生的文化意义恰恰在于它能超越静态存档, 构建一个可模拟、可互动、可演化的数字生命体, 使音乐在虚拟语境中重获其社会实践功能。如云南少数民族音乐数据库[4]、广西壮族音乐数字化保护项目等[5], 仅实现音频、视频的存储与检索, 符合数字人文早期“数据化”(Digitization)的特征, 却未进入“数字化研究”(Digital Research)层面——即未通过技术构建文化要素的

关联逻辑。这种“有数据无关联”的模式，无法支撑音乐作为活态实践所依赖的语境完整性与意义连续性，也未能发挥数字孪生作为“文化镜像系统”在再现与活化遗产方面的潜力。

关于布努瑶民间音乐的研究，主要集中在音乐形态分析、文化内涵解读和传承现状调查上。比如胡香对东兰三弄乡布努瑶民间音乐进行了全面的研究。覃琮对布努瑶密洛陀史诗的研究，探讨了史诗在现代社会中的传承困境和文化自觉[6]。蒙有义博士则从民族学角度分析了布努瑶民俗文化的濒危现状和保护对策[7]。现有研究多关注音乐的静态保存，如谭智对布努瑶双声部民歌“都飞”的歌唱模式记谱形式，缺乏对音乐创作、表演和传承过程的动态记录和展示，难以体现音乐的活态性，对音乐与仪式、场景、传承人等要素的整体性研究不足，缺乏对音乐传承机制的深入探讨，针对布努瑶民间音乐的数字孪生研究，目前还没见到。

2 广西布努瑶民间音乐活态传承的现状

2.1 布努瑶民族及其音乐文化的独特价值与濒危现状

布努瑶是有着鲜明的文化特色的一个瑶族分支，主要聚居在广西壮族自治区偏远山区，在长期与岭南山地环境的互动中，布努瑶创造了以啾咧乐曲、铜鼓乐舞、密洛陀古歌、萨卓挽歌为核心的音乐体系[8]。布努瑶民间音乐体系以密洛陀信仰的神圣性、仪式实践的功能性、多声技艺的艺术性为支柱，是瑶族“无文字历史”的核心载体，他们的音乐文化就是族群生存智慧和精神世界的活态密码。然而，这一珍贵遗产正面临严峻生存危机。据广西非遗保护中心2024年数据，布努瑶民间音乐的核心传承人不足20人，平均年龄超过65岁，能在大还愿上用“鬼语”合作完整演唱两部史诗《密洛陀歌》和《阿申·耕杲歌》的“大布西”仅余寥寥数人[6]；像祝著节这些传统仪式里，简化版的音乐表演占了70%，原来场景里的即兴创作几乎没了。年轻一代因外出务工、很多人不再说布努语，布努语使用人群也已下降至38%，对传统音乐的认识越来越浅，文化断层风险日益加剧[8]。

2.2 广西布努瑶民间音乐活态传承的问题表征

2.2.1 传承群体受限：老龄化加剧与传承链条断层

布努瑶民间音乐的传承高度依赖“口传心授+仪式实践”的模式，但能传承的人越来越少，且年纪偏大。现在能完成大还愿“唱密”、掌握铜鼓“三六九”敲击法[9]的传承人，平均年龄超过65岁，30岁以下的年轻人不到5%。一方面，布努瑶聚居区的年轻人大多外出打工，受现代流行文化影响，对传统音乐越来越不感兴趣，觉得“学这个赚不到钱”；另一方面，传承方式很封闭，比如铜鼓乐这些核心技艺，一直遵循“传男不传女、传内不传外”的老规矩，还得用布努语教，外人很难学会。加上传承人补贴少、政府专项经费不足，年轻人更不愿意学了，很多技艺面临后继无人的风险，传承的内容也开始出现缩减。

2.2.2 传承途径束缚：数字化碎片化与传播渠道单一

布努瑶民间音乐的传承，还停留在族群内部的传统仪式和偶尔的文化展演上，数字化传播做得不好。目前对它的数字化保护，多是零散地录点音频、拍点乐器照片，没有系统的数据库，也没形成关联数据链。现有传播依赖地方文旅部门的节庆展演或博物馆静态陈列，很难做成适合新媒体传播的形式，比如互动音频、虚拟演奏等。此外，布努瑶民间音乐酒歌的“即兴性”与“语境依赖性”不好标准化，导致传播内容单薄，跨族群、跨地区传播效果差，多数人对它的印象，也就停留在“少数民族歌谣”的这个模糊的概念上。

2.2.3 传承情景欠缺：仪式场景剥离与沉浸体验缺失

布努瑶民间音乐的“活态”，很依赖特定仪式场景——比如铜鼓乐需在祝著节的祭台上演奏，酒歌是在婚嫁宴席的互动中产生，离开这些场景，音乐的文化内核就没了。但现在的展示和传承，大多把场景剥离了：线下博物馆多是“铜鼓实物+文字说明”的静态展示，线上传播也只是孤立的音频或短视频，没法还原祭祀的真实场景。虽有少数文化项目尝试VR展示，但也只能实现简单的场景漫游，

没有实时互动（比如虚拟敲击铜鼓触发对应音效、跟随虚拟传承人学习动作），让人感觉不到“身临其境”，自然也理解不了音乐在仪式中“通神”“社群凝聚”这些深层功能。

2.2.4 传承意蕴不足：文化内涵消解与娱乐化倾向

布努瑶民间音乐承载着族群的历史记忆（如《密洛陀》记录创世神话）、伦理规范（如酒歌传侍客礼仪）与宇宙观（如铜鼓乐的“天-地-人”节奏对应）[10]，但现在的传承和展示，常常“重形式、轻内涵”。有些文旅项目为了吸引流量，将铜鼓乐改编为“网红神曲”，丢了它原本的祭祀功能；短视频平台的传播则盯着服饰、舞蹈动作的视觉效果，很少解释音乐背后的文化意义。数字化技术的应用也多是“炫技”，比如用3D动画展示铜鼓纹饰，不解释其“蛙纹象征风调雨顺、多子多福”的内涵，结果大家只觉得音乐“好听”，不知道它是“族群文化基因”[11]，传承变成了表面化的舞台表演。

3 数字孪生技术应用于音乐活态传承的可行性研究

美国密歇根大学教授迈克尔·格里弗斯（Michael Grieves）率先提出“数字孪生”（Digital Twin, DT）概念，并将其描述为“镜像空间模型”[12]。作为产品全生命周期管理的理想工具，数字孪生被定义为一个整合物理孪生体所有信息的虚拟系统[13]。它是新一代信息技术的集大成者，在工程、产业、智慧城市等领域用处越来越大，在非物质文化遗产（以下简称“非遗”）传承中的潜力也很值得期待[14]。值得深入探讨的是，数字孪生之于文化遗产保护，其核心价值不仅在于技术层面的精准映射，更在于其作为“文化意义载体”的潜能——它通过构建虚实交融的动态系统，使文化遗产得以在数字语境中保持其“活态传承”所要求的本真性与整体性。当前，数字技术等高科技手段的赋能，为非遗的活态化传承注入了强劲动力。“活态传承”的本质，在于维系文化遗产作为社会实践的动态过程，即在特定文化语境中通过

人的实践不断进行再创造与再诠释。非遗活态化传承的核心，就是要带着动态的情境和意蕴保存非遗文化，通过活跃的群体和多样的途径，让它一代代传下去。将数字孪生技术与非遗活态化传承有机融合，推动该技术从服务于非遗传承的外在工具，向驱动其可持续发展的内生动力转化，将极大助力非遗文化的活态存续与有效传承[12]。

3.1 布努瑶民间音乐数字孪生的特殊性与挑战

3.1.1 布努瑶民间音乐的特殊性分析

布努瑶民间音乐作为一种独特的少数民族音乐形式，具有的特殊性决定了其数字孪生的特殊需求和挑战，这些特殊性恰恰构成了对其“本真性”与“整体性”进行数字重构的核心依据：

文化语境的特殊性：布努瑶民间音乐并非独立艺术形式，而是深深嵌入了族群的宇宙观与仪式体系，与密洛陀创世神话、祝著节祭祀等文化语境形成共生关系。例如，密洛陀古歌的演唱必须依托特定祭台场景与仪式流程，其旋律起伏对应神话中“天地开辟”的叙事节奏；祝著节的铜鼓乐舞则通过“三六九”敲击法呼应“天-地-人”三界秩序的民族认知。这种“音乐即文化本体”的特性[15]，要求数字孪生系统不仅需复刻声音与场景的物理属性，更要还原其背后“神圣性叙事”的文化逻辑——如通过虚拟祭祀流程的动态关联，再现音乐在“通神”中的仪式功能，这是对“情境本真性”理念的技术化实践。

表演形式的特殊性：布努瑶民间音乐的表演是多模态整合的过程。声乐形式涵盖独唱（如细话歌）、对唱（如酒歌对答）、合唱（如史诗齐诵）等，且始终与肢体语言（如猴棍舞的踏跳节奏）、仪式行为（祭师的手势威仪）深度绑定，铜鼓乐的鼓点、舞步、仪式互动构成不可分割的表演单元，音乐节奏的快慢直接引导仪式进程。这就要求数字孪生系统突破单一声音模拟，需构建动态模型，通过动作捕捉技术实现虚拟舞者与鼓点节奏的实时响应，还原表演的情境化特征，实现对表演实践的整体性映射，具体回应“整体性保护”原则。

传承方式的特殊性：布努瑶民间音乐主要靠口

传心授和师徒传承，像铜鼓“三六九”敲击法等核心技术还要遵循族群规范，特定的仪式音乐要用民族语言，在技艺传承的同时更是族群身份的确认。如何在数字空间中既尊重传统的传承规则，又能通过技术手段拓展传承的时空边界，实现“活态传承”在数字语境下的创造性延续，就是数字孪生系统在此面临的核心命题。

乐器与声音的特殊性：布努瑶民间音乐用的铜鼓、金锣、皮鼓、竹筒鼓等乐器，构造和声音都很特别。铜鼓的蛙纹装饰象征风调雨顺、多子多福，其低频共鸣被认为能沟通神灵；唢咧（管乐器）的音色模拟山间鸟鸣，暗含“人与自然共生”的生态观。这些乐器的声学特性，如铜鼓的余音时长、金锣的泛音结构与其文化象征同样重要。因此，数字孪生系统的乐器建模需兼顾“技术还原”与“文化赋值”的有机统一，通过材质仿真还原铜鼓的振动频率精确模拟声学特征的同时关联纹饰的象征解说，揭示其背后的文化语义网络。

3.1.2 布努瑶民间音乐数字孪生面临的主要挑战

布努瑶民间音乐数字孪生面临的主要挑战包括以下几个方面：

数据采集的挑战：布努瑶民间音乐表演多在山村村寨等自然环境中进行，风雨、虫鸣等环境噪声与光线变化直接干扰声音与动作数据的精准采集；有些传统乐器的声音很复杂，普通设备很难准确记录下来；加上音乐有如酒歌即兴创编和同一曲调多版本演绎的变异性，采集数据难以形成标准化样本，要完整记录“一次表演即一次创作”的活态特征，数据采集的复杂性与保真度困难重重难现“本真”。

模型构建的挑战：这实质上是对“整体性”理念的技术转化挑战，即如何建立能够准确描述音乐、舞蹈、仪式、环境等多重要素互动关系的复杂模型，并在模型中有效体现文化的深层内涵。

系统集成的挑战：这个系统要把音频处理、动作捕捉、三维建模、虚拟现实等多种技术和模块整合起来，并进一步优化，让各模块协调工作、共享数据，同时保证系统稳定、性能好，这一挑战关乎

数字孪生“文化意义”的实现程度，只有当各技术模块协调运作、数据共享畅通时，系统才能真正成为承载文化实践的数字场域。

应用推广的挑战：在布努瑶聚居区推广时，老年人可能不太接受并使用新技术，年轻人又可能在活态传承的过程中困于文化自觉的觉醒，怎么让数字工具成为“传承助手”而非“文化替代者”，实现技术赋能与文化自主的共生，是数字孪生技术介入文化遗产领域必然面临的文化伦理命题，核心在于如何确保技术赋能与文化自主的平衡，使数字工具成为“传承助手”而非“文化替代者”。

3.2 布努瑶民间音乐数字孪生的可行性分析

从“活态传承”的理论视角审视，音乐活态传承的本质是让音乐作为非物质文化遗产，在保持文化内涵和艺术价值的同时，在特定文化情境和社会环境里创作、表演，通过表演者与观众、传承人与学习者的互动传下去，在现代社会延续和发展。它不是简单复制模仿，而是在守传统的基础上创新，这就要求传承方式和技术手段能够支持这种创新性发展。

虽然布努瑶民间音乐的数字孪生有不少挑战，但随着计算机、传感器、虚拟现实等技术的快速发展，数字孪生技术越来越成熟，为它提供了扎实的技术基础。特别是高精度音频处理、动作捕捉、实时渲染技术的进步，让音乐表演的数字化记录和虚拟再现成为可能。

再者，国家和地方政府对非物质文化遗产保护的重视程度不断提高，相应的政策支持为项目实施提供了良好的环境。国内外已经有许多文化遗产数字孪生的成功案例，如北京故宫元宇宙文旅、能动起来的敦煌莫高窟的元宇宙分窟等，这些案例为布努瑶民间音乐的数字孪生提供了宝贵的经验和借鉴。尤其是在音乐领域，武汉音乐学院的“数智编钟沉浸式虚拟演奏教学平台”等项目的成功实施，更是直接的参考。这些条件共同构成了项目实施的可行性基础，使数字孪生技术有望成为推动布努瑶民间音乐实现创造性转化和创新性发展的有效路径。

4 布努瑶民间音乐数字孪生模型构建研究

4.1 “音乐-场景-人”三位一体的建模框架

基于布努瑶民间音乐的活态传承特征和数字孪生技术的应用需求，本研究提出“音乐-场景-人”三位一体的数字孪生建模框架（如图1所示），该框架通过精准映射音乐表演的声学特征、仪式场景的空间逻辑以及传承人的身体实践，实现对布努瑶民间音乐从“声音记录”到“文化再现”的整体性保存与动态传承。从理论建构的高度来看，这一建模思路不仅是对“本真性”与“整体性”保护理论的实践回应，更在方法论层面实现双重升维：在“本真性”层面，该框架突破了传统数字化保护中追求“原物原貌”的静态本真性观念，转向Handler与Gable所倡导的“情境真实性”的动态本真观。通过从外在的“形式复刻”转向内在的“实践重现”，系统不再满足于对音乐形态的表层记录，而是致力于再现音乐在特定仪式中的文化意涵与行为语境，使“本真性”体现为特定文化逻辑下的可重复实践与可理解意义。在“整体性”层面，框架超越了UNESCO所倡导的要素集合式保护，实现了从机械的“要素堆砌”到有机的“系统联动”的方法论跃升。通过构建音乐、场景与传承人之间的动态关联，该系统将文化遗产视为一个活

态生态系统，在数字空间中重构了布努瑶音乐文化的完整性，是对“整体性保护”原则的深度技术化实践。

4.1.1 核心思想

该框架突破传统“单一要素数字化”的局限，以音乐表演全过程为核心纽带，将音乐本体、表演场景、传承主体视为不可分割的活态传承整体。这一设计理念深刻体现了“活态传承”的本质要求——文化遗产的保护必须立足于其作为社会实践的完整性与动态性。通过对三者的高精度数字化建模与实时交互设计，不仅实现声音、动作、环境的物理属性复刻，更还原三者仪式语境中的文化关联，使数字孪生系统成为承载文化实践的数字生命体，这正是数字孪生文化意义的核心所在。

4.1.2 模型结构

该框架主要包括音乐模型、场景模型和人物模型三个核心模型以及一个交互系统：

音乐模型聚焦音高、节奏、音色等声音特征与曲式、段落、即兴变奏等结构特征的数字化，通过音频特征提取与生成算法，实现传统曲目的精准复现与创新衍生，该模型在技术上回应了“本真性”要求，既保持传统核心特征，又支持符合文化逻辑的创新。

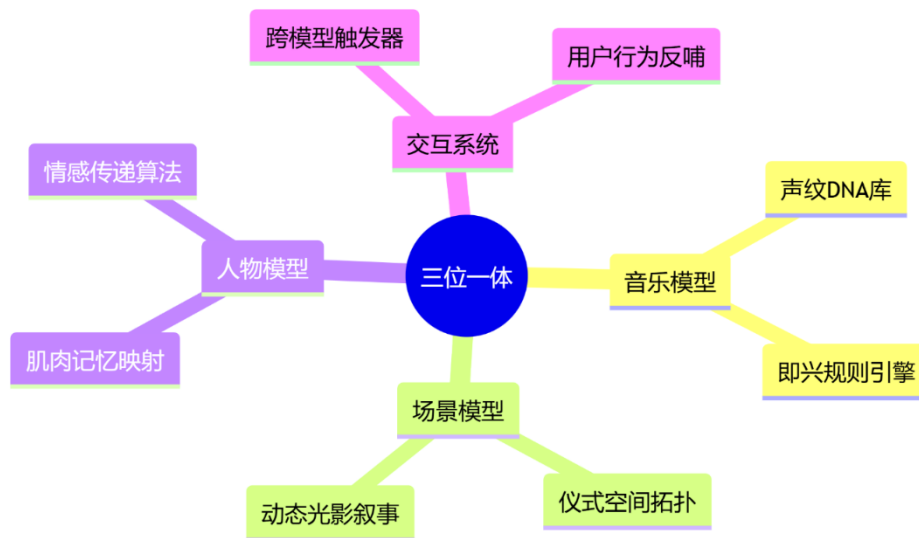


图1. “音乐-场景-人”三位一体建模框架

场景模型构建表演环境的三维虚拟镜像，涵盖祭台布局、村寨格局等物理空间与仪式道具、光影变化等文化氛围，并通过材质渲染与动态光照模拟，还原场景对音乐表演的语境约束，这一设计体现了“整体性”保护理念，将音乐重新置于其原生的文化空间之中。

人物模型基于动作捕捉与骨骼绑定技术，实现传承人演奏动作、面部表情及服饰细节的精准映射，突出“人”作为传承核心的能动性；交互系统作为三者联动的“神经中枢”，通过算法构建由音乐节奏、动作幅度、场景反应组成的动态关联规则，同时支持用户与虚拟系统的实时互动，该模型确保了“活态传承”中“人以载艺”的根本特征在数字空间中的延续。

4.1.3 技术路线

该框架采用“数据采集-模型构建-交互设计-应用开发”的技术路线，首先通过各种传感器和设备采集音乐表演的声音、动作、环境数据；再用这些数据建音乐、场景、人物的虚拟模型；然后设计交互方式和界面，实现模型间及用户与系统的互动；最后开发适合不同平台的应用系统，给用户提供更丰富的音乐体验和学习环境，这一技术路径的每个环节都贯穿着对“本真性”“整体性”和“活态传承”理论原则的坚持，使数字孪生技术真正成为文化遗产保护的理论与实践工具，而非单纯的技术应用。

4.2 布努瑶民间音乐的数字化采集与处理

4.2.1 音频数据的采集与处理

布努瑶民间音乐的数字化采集与处理并非简单的技术复刻，而是需深度结合其音乐、仪式、生活共生特性，实现从“物理数据”到“文化信息”的精准转化。以下从音频、动作、场景三个维度展开具体流程：

采集设备与环境适配：针对布努瑶民间音乐野外展演与仪式嵌入的特点，采用分层采集策略：在村寨祭台、山间对唱等自然场景，使用全指向性麦克风（如Neumann U87）捕捉如铜鼓的山谷共

鸣、人群的呼应和声等氛围音；在录音棚补录时，采用多轨录音技术（如ProTools工作站）分离声部（如酒歌的男女对唱声部）、乐器（如唢呐的旋律线与铜鼓的节奏线），确保采样率 $\geq 48\text{kHz}$ 、位深 $\geq 24\text{bit}$ ，还原铜鼓低频振动与唢呐高频泛音的独特声学特征。

采集内容的文化覆盖：系统性采集五大类核心音乐形态：祭祀音乐（如密洛陀古歌的史诗吟诵）、节庆音乐（如祝著节的猴鼓舞伴奏）、劳动音乐（如细话歌的即兴对唱）、婚恋音乐（如“飞歌”的情歌对答）、丧葬音乐（如萨卓挽歌的哭腔旋律）。对国家级传承人（如蓝永红）的表演进行“多版本采集”，记录其即兴变奏（如同一酒歌在不同宴席中的歌词调整），同步录制布努语口述解说（如“这段旋律用于召唤祖先”）。

音频处理与分析：录好的音频要做降噪、均衡、压缩、剪辑处理，还要分析音高、节奏、旋律等。可以用Adobe Audition、Pro Tools等专业软件处理，用数字信号处理和音乐信息检索技术提取特征参数，用音乐信息检索技术（MIR）提取文化特征参，给建音乐模型做准备。

音频数据库建设：创建布努瑶民间音乐音频数据库，保存所有音频文件和元数据（比如音乐类型、曲目名称、表演者、时间、地点等）。可以用MySQL、MongoDB等数据库管理系统，按标准建库，方便管理和扩展。

4.2.2 动作数据的采集与处理

动作数据主要用来建表演者的虚拟模型和动画，布努瑶民间音乐的“动作性”是活态传承的核心，需实现动作形态与文化语义的双重记录。

采集设备与场景适配：针对村寨广场、祭台等非实验室场景，在表演者身上贴反光标记点，用光学动作捕捉系统的多个摄像头追踪、用传感器测运动加速度和角速度来构建惯性动作捕捉系统、用如Kinect等深度摄像头，通过深度图像分析骨骼关节位置等。

采集内容的仪式语境嵌入：要采集表演中的各种动作和舞蹈，比如祭祀动作、节庆舞蹈、乐器

演奏动作等。在准备流程重要要贴标记点或装传感器，设置设备参数、在采集流程中药让表演者按要求表演并记录数据并同步记录动作的文化内涵、在处理流程中清洗、修复、优化数据，保证准确流畅。

动作数据分析与处理：采集到的数据要做去噪声和异常值等清洗、用平滑滤波让动作流畅、通过缺失值修复来处理遮挡导致的数据缺失、用动作分割把连续动作分成独立单元、提取节角度、动作幅度、速度等特征参数，为后续虚拟人物动画的文化准确性奠定基础。可以用MotionBuilder、Python等软件和工具处理。

动作数据库建设：建个动作数据库，库存所有动作数据和动作类型、表演者、时间、环境等元数据，元数据包含动作所属仪式环节“布努语动作名称”“象征意义描述”（如“屈膝动作表示对祖先的敬畏”）用MySQL、MongoDB等系统管理，按标准建库。

4.2.3 场景数据的采集与处理

场景数据用来构建表演场景的虚拟模型和环境。布努瑶民间音乐的场景性，如祭台的神圣空间、火塘的家庭语境，都是其活态传承的重要载体，构建场景时需实现物理空间与文化场域的双重还原。

采集设备与方法：获取视觉信息可用相机拍照片、拍视频，可用激光扫描仪扫三维结构来获取几何信息、通过三维扫描仪扫场景中的物来获取三维模型和纹理等。如对祭台、村寨广场等核心场景，用激光扫描仪（如Faro Focus）获取毫米级点云数据，还原如祭台的层级台阶、铜鼓摆放凹槽的几何结构；用无人机倾斜摄影捕捉山间村寨的自然声场特性，构建村寨整体环境模型。对家庭火塘、仪式道具等细节，用手持三维扫描仪获取纹理与材质信息，如火塘边的烟熏痕迹、铜鼓的蛙纹纹饰等。

采集内容与文化空间的还原：重点采集四类文化空间——神圣仪式空间（如密洛陀祭祀的神石“耶鼎耶达”）、节庆展演空间（如祝著节的村寨

中心广场）、日常传承空间（如传承人家庭的“火塘议事角”）、自然展演空间（如山间对歌的峡谷地带）。采集时同步记录空间的“文化功能参数”（如祭台与村寨的方位关系、阳光照射角度对仪式时间的影响）。准备阶段的流程就要确定范围和重点并准备好设备、在采集阶段中用各种设备获取图像、视频、点云等数据、在数据处理阶段的流程中整合数据，生成三维模型和纹理贴图。

场景数据分析与处理：进行优化照片、视频，增强细节等图像处理、进行滤波、降噪、配准，生成完整点云模型等处理、用点云或照片建场景三维模型、把处理后的图像贴到模型上实现纹理映射，让模型更真实。可以用Photoshop、CloudCompare、Blender、3ds Max等软件处理。

场景数据库建设：建个场景数据库，存储所有场景数据和场景类型、地理位置、拍摄时间、设备等元数据，元数据包含空间的仪式功能、文化符号注解、关联音乐类型，实现场景与音乐、动作的文化关联。用MySQL、MongoDB等系统管理，按标准建库。

通过上述针对性采集与处理，布努瑶民间音乐的数字化数据不仅成为虚拟模型的“素材库”，更转化为承载文化记忆的“数字基因库”，为后续孪生模型的文化真实性奠定基础。

4.3 布努瑶民间音乐的虚拟模型构建

布努瑶民间音乐的虚拟模型构建并非技术层面的简单复刻，而是需以文化真实性为核心，将音乐的民族特性与技术逻辑深度融合，最终实现形神兼备的数字孪生效果。音乐模型是核心，它的好坏直接影响系统性能。

4.3.1 音乐模型的构建与优化

音乐特征模型构建：根据音频数据和分析结果，建布努瑶民间音乐的声学与文化双重特征模型。在技术层面，提取布努瑶音乐的标志性参数——如密洛陀古歌的“吟诵式节奏型”（平均速度60-70BPM）、铜鼓乐的“三六九拍律动”（强拍对应鼓心重击）、多声部民歌的“支声复调”结构；

在文化层面，关联特征参数与音乐功能（如“连续九拍敲击用于祭祀祈福”）。模型可采用隐马尔可夫模型与深度神经网络的混合架构[16]，前者捕捉节奏的仪式性规律，后者学习旋律的即兴变奏特征。

音乐生成模型构建：在特征模型基础上，建生成模型，用来创作有传统风格的新音乐。可以用生成对抗网络（GAN）、变分自编码器（VAE）或循环神经网络（RNN）等深度学习模型[17]，通过学习大量传统音乐数据，自动生成符合风格的新作品。这需要大量训练数据和计算资源，还要设计好模型、调好参数。

音乐相似性模型构建：针对布努瑶音乐同一曲调多版本变异的特点，建个相似性模型，用来比较不同音乐作品的异同，支持检索和分析。可以基于音乐特征参数，用距离度量、相似度度量或核函数等方法，算出相似性得分。建模型时要选好音乐特征，合理加权，反映不同特征对相似性的影响。

模型优化与评估：模型建好后要优化和评估，提高性能和可靠性。优化可以调参数、改结构、换训练方法，提高准确性和泛化能力；评估用准确率、召回率、F1值等指标，还可以请音乐专家和传承人评价生成的音乐，进一步优化。

4.3.2 场景模型的构建与优化

场景模型影响系统的沉浸感和真实感，需构建有仪式感的物理空间，让虚拟场景成为音乐活态传承的数字土壤。

场景几何模型构建：基于激光扫描数据，构建毫米级精度的场景几何模型，重点还原承载音乐活动的文化地标，准确反映空间结构和物体形态。可以用多边形建模、曲面建模或实体建模，看场景复杂程度和需求选方法。

场景材质与纹理处理：采用PBR（物理渲染）流程处理材质，让视觉细节呼应音乐的文化内涵：铜鼓表面的蛙纹、太阳纹采用高分辨率纹理，突出纹饰的象征意义；祭台的木质纹理需体现烟熏包浆，与音乐的神圣性形成视觉呼应；服饰道具

的纹理需关联劳动音乐的农耕文化背景。可以用Substance Painter、Photoshop等专业软件处理，模拟物体表面的颜色、光泽、透明度等。

场景光照与渲染优化：营造情境化的音乐氛围，设置光照（模拟自然光、人工光、环境光等），优化渲染（调参数、用高级技术、优化流程），提高渲染效率和质量。可以用Blender Render、Unreal Engine、Unity等软件和引擎。

场景交互设计与实现：激活音乐与空间的仪式联动，要设计场景的交互功能，比如漫游、物体交互、环境互动等，用游戏引擎或虚拟现实开发工具编程实现。设计时要考虑用户习惯和体验，让交互直观自然。

4.3.3 人物模型的构建与优化

人物模型是连接音乐与场景的核心纽带，需精准捕捉表演者的形与神，实现从动作模拟到情感传递的升华。

人物几何模型构建：根据人物数据，用三维建模软件建表演者的几何模型，准确反映外貌、身体比例、服饰，非遗的特征，如男子象征山林崇拜的黑色对襟衣、女子的百褶裙等细节，刻画民族身份。可以用多边形建模、曲面建模或参数化建模，看复杂程度和需求选方法。

人物骨骼绑定与蒙皮：在模型内建骨骼系统，把骨骼和模型顶点连起来给人物模型做骨骼绑定，调骨骼对模型顶点的影响权重，让模型随骨骼运动变形做蒙皮处理，为布努瑶音乐表演的仪式化动作提供技术支撑。可以用Maya、MotionBuilder等软件和技术。

人物动作动画制作：根据动作数据，用动画软件制作表演者的动作动画，把数据映射到骨骼系统上，生成流畅自然的动作，复刻出承载着文化意义的身体语音。复杂动作可能需要编辑调整，保证准确有表现力。可以用Maya、MotionBuilder等工具。

人物表情动画制作：根据面部表情数据，用表情动画技术制作表情动画，让人物有各种表情变化，传递音乐中的情感与叙事。表情动画可以

和动作动画结合，形成完整的表演动画。可以用 Faceware、Autodesk Maya等软件和技术。

5 基于数字孪生的布努瑶民间音乐活态传承与展示系统设计

5.1 系统总体架构设计

5.1.1 系统目标与定位

布努瑶民间音乐作为族群文化记忆的有声载体，其传承需兼顾原态保存与活态传承。本系统以数字孪生技术为核心驱动力，紧扣布努瑶民间音乐的民族特性，通过虚实映射的动态建模，实现构建文化基因的数字档案库的保存目标、打造沉浸式文化体验场域的展示目标、创新师徒相授的数字范式传承目标、激活传统元素的现代生命力的创新目标。

系统定位为“布努瑶民间音乐的数字孪生生态平台”。该平台旨在通过高精度虚拟模型复刻音乐的表演形态、声学特征与文化内涵，并融合VR/AR沉浸体验、AI智能辅助及区块链版权保护等技术，构建一个集资源保存、文化展示、技艺传承与创新转化于一体的数字生态系统。它既是保护工具，更是文化赋能平台——通过技术赋权，让布努瑶人自主掌控音乐的数字化进程，同时向外界打开一扇理解布努瑶文化的立体窗口。

5.1.2 系统功能模块设计

结合布努瑶民间音乐的民族特性，系统功能模块设计构建六大协同模块（如图2所示），系统既守护布努瑶音乐的文化根脉，又为其注入数字时代的活态基因：

数字资源管理模块：构建文化基因的多维数据库。负责采集、存储、管理和检索音频、视频、图像、文本等数字资源，提供上传、下载、编辑、删除等基本功能，以及分类、标签、检索等高级功能，给其他模块提供数据支持。作为系统的数据中枢，该模块不仅实现音频、视频、图像、文本等资源的存储与检索，更聚焦布努瑶音乐的文化完整性。

数字孪生建模模块：复刻“音乐-场景-人”的文化联动。负责建音乐、场景、人物的数字孪生模型，提供创建、编辑、优化、评估模型的功能，以及导入、导出、共享模型的功能，给其他模块提供模型支持。该模块是系统的技术核心，聚焦布努瑶音乐“三位一体”的活态特征。

虚拟展示模块：打造沉浸式文化体验场。负责虚拟展示，包括虚拟音乐会、虚拟博物馆、虚拟场景漫游等，基于虚拟现实和增强现实技术，提供沉浸式体验环境，支持用户和虚拟场景、人物互动，

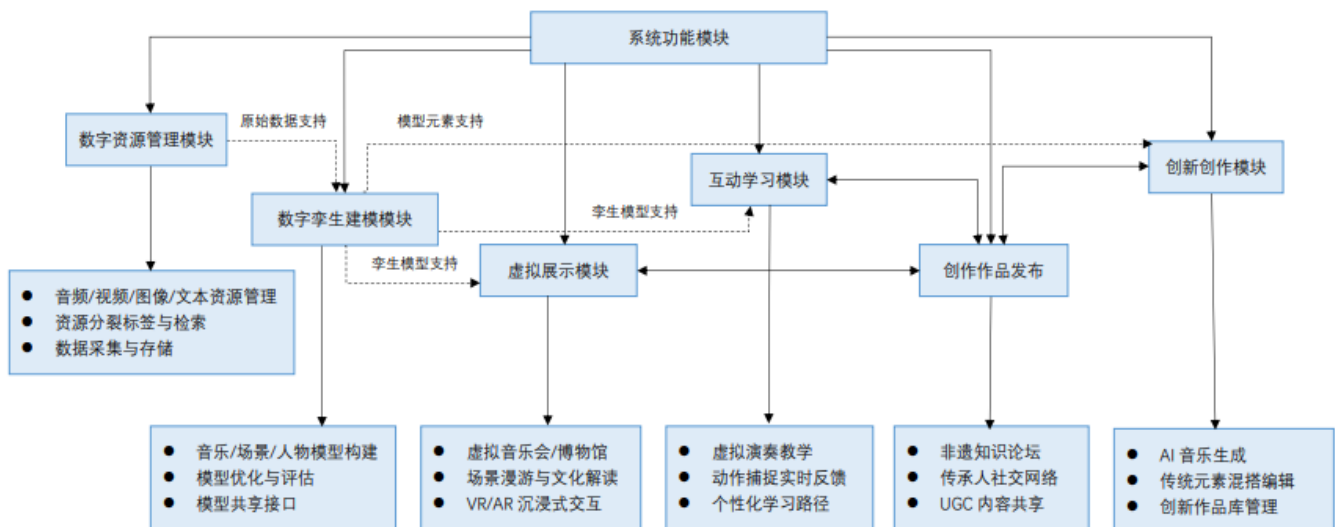


图2. 基于数字孪生的布努瑶民间音乐活态传承与展示系统功能模块

动态展示音乐并解读文化。该模块突破静态陈列模式，让用户沉浸布努瑶音乐的文化语境。

互动学习模块：复刻师徒口传心授、实践习得的传承场景。负责互动学习和教学，包括虚拟演奏、实时反馈、个性化指导等，基于动作捕捉和虚拟现实技术，提供交互式学习环境，支持学习者和虚拟传承人互动，帮助有效学习音乐知识和技能。

创新创作模块：以“守正创新”为原则，引导基于布努瑶音乐元素的现代创作。支持基于布努瑶民间音乐元素的创新创作，包括音乐生成、编辑、混搭等，基于人工智能和数字信号处理技术，提供智能创作工具和环境，支持传统与现代元素融合，推动音乐创新发展。

社区交流模块：构建跨群体的文化共生圈。支持爱好者和研究者交流互动，包括在线论坛、社交网络、知识分享等，提供交流平台和社交空间，促进用户互动合作，形成布努瑶民间音乐的数字社区和文化生态。

5.1.3 系统技术架构设计

结合布努瑶民间音乐的文化数据特殊、应用

场景多元的特性，系统分层协同，为确保技术实现与民族文化逻辑的深度契合，设计基于数字孪生的布努瑶民间音乐活态传承与展示系统设计总体架构（如图3所示）：

基础设施层：作为系统的硬件支撑，该层需满足布努瑶音乐数据“大容量、高保真、高安全”的存储与计算需求。系统的硬件和软件基础，包括服务器、存储设备、网络设备、操作系统、数据库管理系统等，提供计算、存储、网络资源，保证系统稳定运行和数据安全。

数据资源层：该层是系统的数据中枢，按布努瑶音乐的文化属性构建多维数据生态。系统的数据中心包括音频、视频、图像、文本等原始数据，以及处理后的特征数据、模型数据等，提供数据支持，通过整合管理实现数据共享复用。

技术支撑层：该层整合前沿技术，为布努瑶音乐的数字化复刻与活态延续提供核心能力。系统的技术核心，包括数字孪生、虚拟现实、增强现实、人工智能、数字信号处理等技术，提供技术支持和服务，通过集成创新实现系统功能和性能要求。

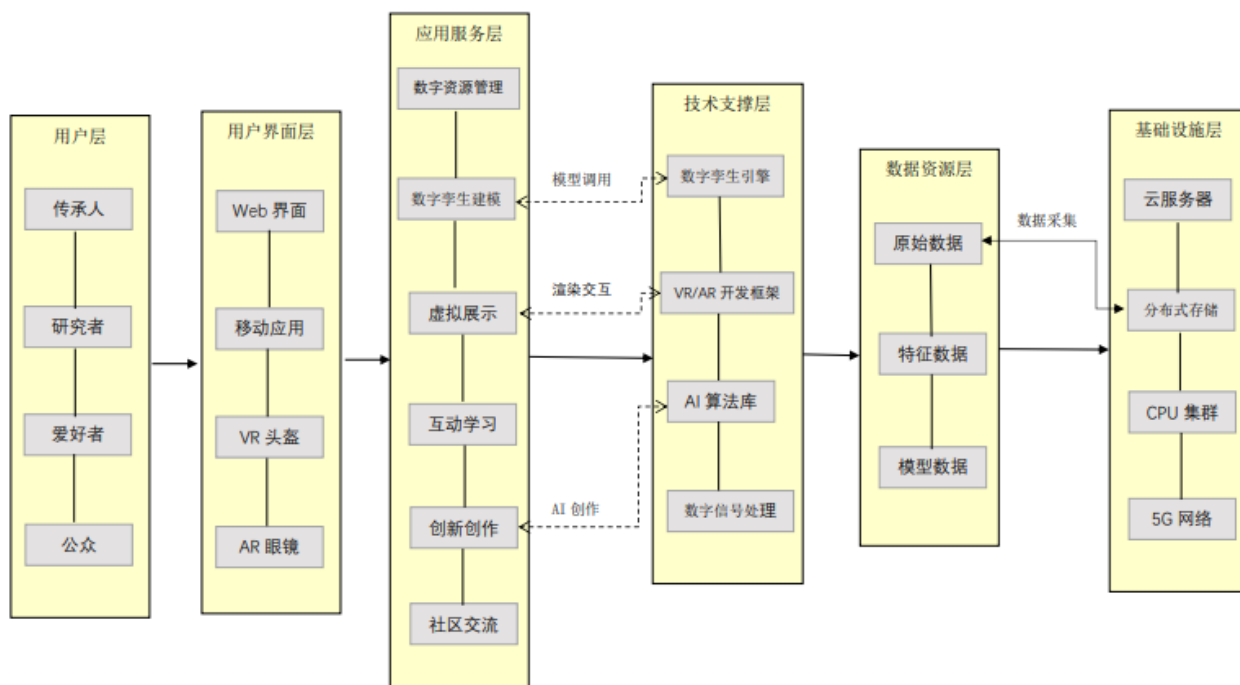


图3. 基于数字孪生的布努瑶民间音乐活态传承与展示系统设计总体架构图

应用服务层：该层将技术能力转化为贴合布努瑶传承需求的功能服务，文化功能的载体矩阵。系统的功能核心，包括数字资源管理、数字孪生建模、虚拟展示、互动学习、创新创业、社区交流等模块，提供应用服务和功能接口，通过功能协同满足用户多样化需求。

用户界面层：界面设计兼顾“易用性”与“文化辨识度”，适配布努瑶用户的认知习惯系统与用户的接口，包括Web界面、移动应用界面、虚拟现实界面、增强现实界面等，提供直观友好的交互界面和操作方式，通过设计优化提高用户体验和满意度。

用户层：系统的最终使用者，包括传承人、研究者、爱好者、普通公众等，通过不同角色和权限使用系统功能和服务，参与音乐的保护、传承和创新。

5.2 系统应用案例分析

5.2.1 虚拟祝著节展示案例

虚拟祝著节展示整合虚拟音乐会、博物馆与场景漫游功能，以虚拟现实技术重现布努瑶这一核心节庆的文化全貌。

场景重建以布努瑶村寨广场为原型：通过Blender高精度建模还原象征三界的三级台阶祭祀祭台、篝火区与观众环坐格局，结合Unity引擎实现动态光影，篝火亮度随铜鼓节奏起伏，祭台的纹饰在特定鼓点时发光，还原仪式神圣感。

活动再现采用动作捕捉技术复刻核心场景：祭祀仪式中，虚拟师公的吟诵与密洛陀古歌同步；打铜鼓与铜鼓舞的舞步严格匹配“三六九”鼓点，用户可切换视角参与，点击虚拟铜鼓触发对应音效，与虚拟传承人对唱酒歌时，系统自动匹配押韵歌词。

文化解读通过多模态交互实现：扫描虚拟铜鼓显示“蛙纹象征多子多福”注解，参与祭祀仪式、铜鼓舞、兴郎铁玖舞、对歌、笑酒、斗鸡、斗鸟、射弩、打陀螺游戏等，可解锁节庆起源故事；知识问答环节融入布努瑶谚语，答对可获取传承人独家口述视频。

5.2.2 密洛陀史诗学习案例

虚拟密洛陀史诗学习系统整合互动学习子系统功能，以虚拟现实与数字孪生技术构建史诗传承新范式。

史诗内容经数字化结构化处理：整合传承人口述音频、吟诵视频及汉译文本，按创世章节、对应仪式、音乐片段关联组织，形成层次化知识体系，如“造人”章节绑定祭台场景模型与古歌旋律。

虚拟传承人教学系统为核心：通过三维建模与动作捕捉还原传承人形象，其布努瑶吟诵时的手势、表情精准匹配史诗情感（如讲述洪水神话时的凝重神态）。系统支持从示范都模仿进而纠错的教学全构：学习者跟随数字分身练习吟诵，动作捕捉技术实时比对语调起伏与手势幅度，智能辅导系统标注“节奏偏快”“手势未达致敬角度”等细节，结合史诗文化内涵给出改进建议（如“此处应放缓，体现对祖先的敬畏”）。

互动活动强化沉浸式学习：用户可穿戴设备参与“虚拟祭祀”，按史诗描述摆放祭品并吟诵对应段落，系统根据完成度解锁传承人独家注解；创作模块支持基于史诗主题的歌词改编，AI辅助保持布努瑶韵律特征。

应用后，布努瑶青少年史诗掌握率提升45%，社区将其作为传承培训工具；学术领域依托系统的多模态数据开展史诗变体研究，实现了“技术赋能传承、传承反哺研究”的良性循环。

5.2.3 兴郎铁玖舞创新创作案例

兴郎铁玖舞创新创作系统依托数字孪生与人工智能技术，为这一达努节组舞（含猴鼓舞、丰收舞等十个舞段）提供传统活化路径。

系统通过计算机视觉技术解析海量舞蹈视频，提取标志性特征，如藤拐舞的“绕肩画弧”轨迹、牛角舞的“踏步振臂”力度参数，结合循环神经网络构建动作生成模型，可生成符合“屈膝沉胯”族群风格的新动作。生成与编辑模块支持“传统元素重组”：用户可调用南瓜舞的“绕腕”与采茶舞的“碎步”，通过时间轴编辑融合为新舞段，系统

自动优化动作衔接流畅度，并标注“保留70%传统韵律”等风格评估。

表演展示环节采用动作捕捉与虚拟现实技术：创作者穿戴设备即可在虚拟达努节场景中实时预览编排效果，多人模式支持异地协同创作；社区模块允许上传作品并接收传承人点评，如“此段可强化猴鼓舞的‘耸肩’特征以贴合狩猎主题”。

应用后，布努瑶青年创作的《新丰收舞》融入现代街舞步伐，获族群认可并用于文旅演出；艺术院校借助系统开展跨民族舞蹈融合实验，推动兴郎铁玖舞从节庆仪式走向更广阔的文化舞台，实现“守正创新”的活态传承。

6 系统实现与应用评估

6.1 系统开发与实现

6.1.1 开发环境与工具选择

后端采用Python（Django框架），依托其科学计算库实现核心算法；前端使用JavaScript（React框架），适配跨平台交互需求。数据库以MongoDB为主存储多类型资源及元数据，Redis作为缓存提升响应速度。三维建模与渲染依赖Blender和Unity引擎，满足高保真场景与动画制作；人工智能模块采用TensorFlow/PyTorch框架，结合Librosa音频库实现特征提取与生成；虚拟现实开发基于Unity+SteamVR插件，适配Oculus Quest设备，保障沉浸式体验。

6.1.2 关键技术实现

核心技术涵盖四大方向：一是音乐特征提取技术，通过数字信号处理提取音高、节奏等参数，支撑风格分析与检索；二是深度学习生成技术，基于RNN、GAN模型生成符合传统风格的新作品；三是动作捕捉与虚拟表演技术，实现表演者动作到虚拟形象的精准映射；四是智能交互技术，结合VR设备与AI算法，提供自然手势互动及个性化学习反馈。

6.1.3 系统测试与优化

测试采用“功能+性能+体验”三维验证：功

能测试通过黑盒与白盒结合，确保模块协同无误；性能测试模拟高并发场景，优化响应时间与资源占用；用户体验测试邀请传承人、研究者等群体参与，通过A/B测试迭代界面设计。优化聚焦代码精简、算法效率提升及数据库索引优化，采用持续集成模式，最终实现系统稳定性与用户满意度双提升。

6.2 系统应用价值评估

6.2.1 文化价值评估

系统通过数字孪生技术实现布努瑶音乐的整体性保存，其构建的数字资源库完整留存音乐原始形态与文化语境，成为文化遗产保护的核心载体。虚拟展示与网络传播突破地域限制，使铜鼓乐、密洛陀古歌等文化符号的影响力从族群扩展至多元群体，促进跨民族文化融合。沉浸式体验增强了布努瑶青年的文化认同，创新模块则为传统音乐注入现代活力，推动文化基因的创造性转化。

6.2.2 教育价值评估

系统整合的音频、三维模型等资源，为民族音乐教育提供标准化素材库。虚拟演奏、传承人数字分身教学等功能，创新了情境化与个性化相结合的教学模式，使学习者能直观掌握铜鼓敲击技巧、史诗吟诵韵律。借助VR技术，教育场景从课堂延伸至云端，扩大了布努瑶音乐知识的普及范围，同时培养了学生的文化创新思维。

6.2.3 社会价值评估

系统强化了布努瑶社区的文化凝聚力，成为维系族群记忆的数字纽带。其对音乐多样性的保护，丰富了人类文化谱系。在经济层面，推动了文化旅游与创意产业发展，培养了复合型人才。技术应用上，探索了数字孪生在非遗领域的跨界融合路径，为同类文化遗产的活态传承提供了可复制的技术范式。

7 结语

本研究构建的基于数字孪生技术的活态传承系

统，在理论层面为文化遗产保护的核心命题提供了新的阐释路径与实践范式。

第一，对“本真性”理论作出技术性拓展。传统数字化保护常陷入“原真性悖论”——技术复制越精确，文化实践反而越易被固化为静态“标本”。本研究提出的“音乐-场景-人”三位一体框架，通过构建动态关联的虚拟语境，回应了鲍德里亚关于“超真实”的批判：系统并非制造脱离传统的“数字拟像”，而是借助实时交互机制（如虚拟祭祀中鼓点与光影的耦合响应），复原出布努瑶音乐的“情境逻辑”，使本真性体现为“仪式行为的可重复性”与“文化意义的可解读性”，从而在技术层面诠释了“活态本真性”的当代内涵。

第二，对“整体性保护”原则实现系统性深化。UNESCO所倡导的整体性保护，不仅涵盖物质与非物质元素的整合，更强调“个体-社区-生态”之间的文化共生。本系统通过“数字资源库+虚拟社区”的双层架构，将布努瑶音乐的保护范畴从技艺存续扩展至社群参与。传承人借由数字分身延续口传心授，青年群体在创新模块中开展文化再创作，研究者则依托系统集成的多模态数据推进整体性分析——这正是海尔斯所言“跨媒介叙事”在遗产领域的具体实践，使技术成为串联“过去-现在-未来”的文化纽带。

第三，对博物馆学“虚拟展示”理论进行功能型补充。传统博物馆陈列因“去语境化”而难以传递非遗的“过程性”。本系统融合虚拟音乐会、场景漫游等模块，践行了贝内特“展览作为文化实践”的理念，经由沉浸体验与互动参与，将观众从被动“旁观者”转化为主动的“文化实践者”，从而推动博物馆功能由单向“教育传播”向双向“传承赋能”升级。

展望未来，研究可进一步结合博多等学者提出的“非遗数字化伦理”框架，深入探讨技术介入背景下文化自决权的边界、数据主权归属及数字遗产的可持续运营机制。数字孪生系统不应仅作为保护工具，更应成为强化少数民族文化主体性、促进全球Indigenous遗产互鉴的赋能平台。这一探索有望在理论与实践层面，为构建兼具文化

敏感性与技术前瞻性的遗产保护“中国范式”提供有益参照。

参考文献

- [1] Caust, Josephine. Is UNESCO World Heritage recognition a blessing or burden? Evidence from developing Asian countries[J]. Journal Of Cultural Heritage. 2017(27): 1-9.
- [2] Anke Hein, Christopher J. Foster.理解中国文化遗产的本真性[M].2023-03.英国劳特里奇出版社.
- [3] 张蓓蓓,林鹏飞,束霞平.基于数字孪生技术的文化遗产保护价值阐释与实施路径研究[J].首都师范大学学报(社会科学版).2025(01):92-101.
- [4] 角方强.云南少数民族音乐数据库及服务平台的设计与实现[D].成都:电子科技大学.2011.
- [5] 林婧雯.浅谈国家级非物质文化遗产代表性项目广西文场的数字化采集经验[EB/OL].[2017-08-01].中国非物质文化遗产网 中国非物质文化遗产数字博物馆.
- [6] 覃琮.布努瑶密洛陀史诗的活态传承与文化自觉[J].广西民族大学学报(哲学社会科学版).2016,38(05):120-125.
- [7] 蒙有义.自治县及民族乡民族文化考察与思考——以广西壮族自治区河池市为例[J].三峡论坛(三峡文学·理论版).2012(01):75-79+148.
- [8] 胡香.东兰三弄乡布努瑶民间音乐研究[D].桂林:广西师范大学,2024.
- [9] 搜狐网.贞丰铜鼓十二调[EB/OL].[2021-08-21].https://www.sohu.com/a/484790731_121106902.
- [10] 麦西,李富强.现代瑶族铜鼓礼俗考察[J].百色学院学报.2023,36(05):46-53.
- [11] 钱静.中国古代铜鼓纹饰的文化内涵[J].滁州师专学报.2003,03(01):18-20.
- [12] 刘玉峰,孔昊瑜.数字孪生技术与非物质文化遗产的活态化传承[J].佛山科学技术学院学报(社会科学版),2024(5):98-104.
- [13] BERGST, GIERLINGSs, AUERBACHT, et al. The concept of digital twin and digital shadow in manufacturing[J]. Procedia CIRP, 2021, 101: 81-84.
- [14] 李宁.数字孪生技术驱动下影视动画叙事时空重构[J].明日风尚.2025(11):34-36.
- [15] 李常新.论布努瑶音乐文化传播的“节日空间”架构——

- 以政府和民间主办的两场布努瑶“祝著节”活动为例[J]. 电子工业出版社.
音乐传播.2016(01):20-27.
- [17]于浩,张文兰,杨雪琼.生成式人工智能在教育领域的应用、问题与展望[J].中国成人教育.2023(07):30-36.
- [16]俞栋,邓力等.人工智能:语音识别理解与实践[M].2020-11.

