**从仪式到魔术：互动艺术与人机交互的过去、现在和未来**

**摘要**

艺术和技术之间的联系比人们通常认为的要紧密得多。21世纪初出现的美学计算让人们重新关注这种关系。在这篇文章中，我们将通过简单地讨论交互、创造力、体现、影响和存在这几个方面，去阐明艺术和人机交互(HCI)是如何相互兼容的，以及在我们这个时代如何相互促进。在简要介绍交互艺术的历史之后，我们通过举例说明当代艺术在沉浸式环境中的艺术、机器人艺术和艺术中的人工智能，讨论艺术和人机交互如何相互促进。之后，我们将给出艺术和人机交互之间合作的挑战和机遇。最后，我们给出其重要的含义并提出了未来的发展方向。本文的目旨在促进在艺术和人机交互社区中合作的共同利益的讨论，并为这一领域的艺术家和研究人员提供进一步的建议。

**关键词**：美学计算 计算创造力 具体化交互 交互艺术 机器人艺术

# **一、介绍**

艺术和技术有着相似的起源。艺术起源于拉丁语ars/artem，意思是“艺术作品；实用技能；商业、工艺”。Techne是希腊语中“工艺或艺术”的意思。从词源上讲，技术包括艺术的创造和研究，以及更实用的人工制品。以石器时代动物为特征的洞穴绘画代表了萨满教的各种主题，即动物会带来好运或更多食物。同时，这些早期的艺术作品可以看作是科学和技术。阿尔塔米拉洞穴的绘画包括野牛的解剖细节（即科学）。它们还代表了一种虚拟现实，使创造者能够通过基本技术来表达自己的愿望。

历史上有许多对艺术和技术做出贡献的人的例子，例如达芬奇或米开朗基罗。然而，艺术和技术之间的关系在不同的艺术时代(如洛可可和浪漫主义)盛衰交替。有时，一些人甚至认为技术的应用是对艺术的一种威胁(例如，大量的艺术作品的摄影复制，本杰明, 1968)。然而，在过去的一个世纪里，艺术和技术开始重新融合在一起。例如，电影与技术有着与生俱来的联系，并得到了技术的支持，无论是在处理现实的时候——例如，“火车到达拉西奥塔” 还是小说——如“月球之旅”（1902年乔治·梅利斯）。利用技术创造当代艺术——特别是互动艺术——不再被视为争议。显然，如今许多艺术家使用虚拟现实技术——远比阿尔塔米拉洞穴绘画先进——在观众中创造出新的、强大的体验，而这些体验有时与“魔法”无法区分（克拉克，1973）。

科技的使用已经超出了我们的想象。一个计算机程序可以生成一件具有伦勃朗“风格”的新艺术品(https://www.nextrembrandt.com/)。一个智能手机应用程序可以将我们的哼唱变成一首新歌，并进行所有必要的安排(如http://hum-on.com/)。在“2018年电子艺术节(Ars Electronica Festival)大型音乐会之夜”上，舞者们与巨大的机器人手臂共舞。通过这些例子，我们见证了计算机技术对艺术和美学的影响。然而，很少有研究关注艺术和美学对计算机技术的影响。为了阐明这个相反的方面，研究人员创造了一个术语“美学计算”(Shem-Shaul et al.， 2003)。艺术和美学允许技术人员为软件和数学结构探索更有创意和创新的媒体，使计算更容易被不同的人使用，并促进个人和群体水平上的计算结构的个性化。因此，我们可以看到 艺术/美学 和 计算/技术 之间的相互作用。一方面，艺术/美学 的理论和实践丰富了计算表征和技术发展。另一方面，计算/技术 使新颖的感知体验成为可能。鉴于美学的本义是“研究我们对整个环境的感知”(Bolter et al.， 2013)，计算和技术为新的美学创造了发展机遇。

在这篇文章中，我们将讨论交互艺术与人机交互(HCI)在过去和现在的紧密联系，并解释为什么它们在数字时代的发展不可或缺。为了说明“过去”元素，我们在简要历史部分引用了本文作者同意的少量内容，并使用Ernest Edmonds的作品对该领域的发展进行了简要概述，Ernest Edmonds为这个跨学科领域做出了大约50年的贡献。目前，我们通过描述不同流派和艺术形式的当代作品，展示艺术家和人机交互研究人员如何相互影响。为了说明未来可能出现的情况，我们考虑了来自不同学科的人们相互合作时所面临的挑战和机遇，并讨论了我们如何促进这一过程。最后，我们给出了一些建议和建议。

# **二、艺术与人机交互之间互相联系的部分**

Art和HCI可能有不同的目标和方法。然而，它们有着共同的核心，这在两者之间建立了密切的关系，可以使双方共同受益。第4节将举例说明这种关系。

**2.1 交互与交互性**

正如互动体验在艺术中很重要一样，人机交互也是如此。在艺术家与观众或用户与产品之间的交互中，交互可以分为不同的层次。在传播学中，“准交互性”指的是双向沟通或反应式沟通（Rafaeli，1988），正如我们在自动售货机上所经历的那样。我们可以通过许多交互性艺术品来体验这种交互。另一方面，“完全交互”取决于总体体验的性质。完全交互承认先前的反应。换言之，为了实现完全交互，回复应该包括对已经交换的内容的引用，并唤起令人难忘的交互体验。假设一个舞者正在和一个聪明的无人机舞伴跳舞。舞者制作一个模式a，制作一个不同的模式b，然后返回到模式a。如果无人机记住了模式a，并在舞者返回到模式a时再次将其动作调整到模式a，而不是试图将其作为新模式来理解，这就意味着完全的交互，因为无人机会记住以前的经历/交流，识别舞蹈的背景，并做出相应的反应。

自五六十年代“偶发事件”发生以来，在观众(或参与者)的帮助下完成作品一直是人们追求的目标。在互动艺术中，Edmonds(2018)进一步细化了参与者参与艺术作品的分类:静态、动态-被动、动态-动态-互动和动态-互动(变化)。在静态艺术中，艺术对象是不变的，是由人来观察的。对于动态被动艺术，艺术对象有一个内部机制，使它能够改变或可能被环境因素，如温度，声音或光修改。注意，在这个类别中发生的更改可能是可预测的，也可能是不可预测的。如果一件物品随着环境温度的变化而变化，但使用了复杂的非线性函数，这对人类观察者来说不一定是可预测的。同样，如果一件物品随着环境温度的变化而变化，但有一些随机变化，这也不是完全可以预测的。

在动态互动艺术中，观众在影响艺术对象的变化方面扮演着积极的角色。最后，在动态交互类别中，人类或软件都可以更改艺术对象的原始规格。这还可能包括从以前的交互经验中学习结果的可能性，以自动修改对象的规范。这非常符合Rafaeli在考虑交互响应历史方面的完整交互构造。

人机交互对体验设计的关注和对用户粘性的理解与互动艺术尤其相关。在美术领域，艺术家更关心的不是任务分析、错误预防或任务完成时间，而是乐趣、游戏和长期参与等问题。在互动艺术中，艺术家关注的是艺术作品的行为方式，观众如何与艺术作品互动(也可能是通过艺术作品与他人互动)，最终是参与者的体验和参与程度。从某种意义上说，这些问题一直是艺术家世界的一部分，但在互动艺术中，它们变得更加明确和突出。虽然各种形式的人机交互可以提供输入(如评估方法、设计原则或对人类行为的洞察)，有时有助于艺术家，但交互艺术的关注点超出了传统的人机交互所涉及的范围。因此，我们需要关注人机交互研究中新出现的或正在出现的问题。众所周知，HCI从业者并没有一本简单的交互和体验设计说明书。相反，我们的方法是将研究和评估用户作为设计过程的一部分。这一点的含义对于艺术实践是有趣的，因为它的创作过程往往是一个秘密的，是个人努力的结果。这意味着艺术制作过程可以适应某种形式的受众研究，就像人机交互中的参与式设计一样。

Edmonds(2018)确定了一些艺术研究的经验教训，这些经验教训对HCI研究十分重要。例如:

•在任何互动系统中都有不同的利益相关者，每个利益相关者所需的评估方法可能完全不同。

•通常需要考虑所有利益相关者，因此建议采用多种观点和评估。

•多视角是在自然环境下研究的一个重要方法。

•互动系统的参与性质会随着时间的推移而变化。

•设计标准要与需要解决的参与阶段（即互动水平）明确关联。

•设计交互以促进阶段之间的过渡可能很重要。

•每个阶段都是一个研究主题，过渡也是。

•当一组人与一个系统交互时，人与人之间的交互与人与系统的交互一样重要。

•幻觉物理体验可以被诱导，并且可能与真实体验一样重要。

•在互动表演中，视觉效果可能是讲故事的重要因素。

总之，互动与交互艺术和人机交互的核心都有着深刻的联系。当交互设计师对不同类型的交互及其独特的效果敏感时，他们将能够设计出最适合自己目的的交互方式，从而在用户与技术交互时提供更丰富的用户体验。重新审视交互性，强调用户随着时间的推移的参与度、社交互动和感官(视觉和听觉)效果，不仅可以增强故事情节，而且还可以改善互动艺术和人机交互的整体体验。

**2.2 创造力**

创造力可以被定义为“创造新颖工作的能力”。研究表明，创造性的作品可以通过对概念领域中已有思想的探索、组合或转化获得(Boden, 2004)。在新艺术创作中，追求新奇往往是根本且重要的。Kosuth指出，在杜尚之后，特定艺术家的价值可以根据诸如“他们在多大程度上质疑艺术的本质”等问题来衡量。或者“他们给艺术的概念增加了什么?”艺术史，至少在杜尚之后，已经表明许多艺术家试图打破社会规范、刻板印象和角色期望，创造新的艺术。

仅仅对一个原始概念的想象并不能满足创造力的定义;相反，它必须物质化或表现为一种产品(绘画、构图、雕塑等)。因此，在创造力中表现的过程是至关重要的。Yadav和Cooper(2017)已经确定了学生可以通过计算机科学开发的关键创造性思维工具:观察和成像(如可视化)、抽象(如减少细节和分解)和模式(如识别和形成)。所有这些创造性的计算机科学活动与艺术创作之间产生共鸣，这揭示了这两个领域的实践之间的相似之处。

这个想法也鼓励研究人员和教育工作者将STEM(科学、技术、工程和数学)与艺术和设计相结合，从而将STEM变成STEAM (Bequette和Bequette, 2012)。这种方法可以通过使用更吸引人的材料和熟悉的形式(如艺术、音乐和舞蹈)来降低STEM的门槛，从而使学生能够更积极地参与学习过程。STEAM还允许学生通过使用全身性的活动来探索STEM的概念（例如，与机器人共舞来学习平衡），使他们能够以比坐在桌前被动学习更加直观的方式来理解复杂的结构及其关系。显然，HCI可以通过探索和测试不同应用领域的不同教育项目来支持这一发展，例如编程（Ryokai et al.，2009）、机器人学（Barnes等人，2019年）、数学（Brown和Howard，2013年）和语言学（Kennedy等人，2016年）。

最后，设计和实施技术本身是创造性的过程，而人机交互研究人员也通过设计创造性支持工具(例如，Shneiderman, 2007)以及为艺术家提供设计研究平台(例如，Jeon et al.， 2014)等方式对艺术和设计贡献力量

**2.3 体现**

随着最近的一批研究集中在具体认知（例如，主题专刊，Davis和Markman，2012）和具体互动上（例如，ToCHI专刊，Marshall等人，2013），它们已成为HCI研究中被广泛接受的理论基础之一。计算的历史显示了：随着人们对身体使用的增加，人们对其重要性的理解也随之增加。图形用户界面(gui)对命令行界面(cli)进行了补充。有形用户界面(TUIs)作为嵌入式交互方法的一个例子，在HCI社区中也很普遍。在这个新的范式中，笛卡尔的身心二元论被否定，互动的设计空间戏剧性地扩展到我们的整个身体。心与身不再被视为独立的实体，而是被视为相互交织、相互影响的实体。有了这种具体化的交互，计算的表现和交互可以通过感知、规划和用身体执行动作来实现，这是艺术家们专长的领域。人机交互研究人员可以了解艺术家如何看待和解释世界上的物体，以及他们如何与世界互动(Fishwick, 2008)。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **科学** | **常见的过程** | **艺术** |
| 数据收集 | 注意到 | 观察 |
| 好奇心 | 想知道 | 想象力 |
| 实验 | 探索 | 彩排 |
| 设计 | 想象 | 作文 |
| 解释 | 沟通 | 性能/展览 |

德国作曲家理查德·瓦格纳曾经设想，未来艺术的成功将取决于综合艺术作品的成就，他将这一概念称为“Gesamtkunstwerk”。他认为，音乐戏剧将是这种集体艺术的理想形式，它可以整合音乐、建筑、绘画、诗歌和舞蹈等所有艺术流派。其中，他强调演员与诗人或音乐家相比的关键作用，因为艺术的最终目标可以由演员实现，演员可以将“意愿”变为“可能性”(Wagner, 1849)。同样，Penny(2009)认为当代艺术的策略应该从“具象的”模式转向“表现的”模式。因此，全身性交互在互动艺术中的应用，为涉及行为设计的审美实践提供了一种新的范式。这些理论提出了艺术家和研究人员可以在交互设计中考虑的新主题：(1)用户可以通过行动来学习。他们通过手势和动作来思考，更容易识别隐含的约束和问题。(2)用户可以通过工件进行操作，而不是对工件进行操作。他们把人工制品看作是他们身体的延伸，而不是一个独立的物体。这就解释了交互设计中情感和影响的重要性(Jeon, 2017)。(3)分布式认知理论(Hollan et al.， 2000)提出，用户可以很容易地感知其他用户的状态和响应。通过参与实践来促进学习，并加强基于外围参与的协调。(4)本小节提供了集成物理世界和数字世界的机会，这在以前是不可能实现的。这种整合创造了可延展的材料和体验。所以，互动艺术的美学范围可以通过一系列情感、情感和有形技术的结合体来进行扩展。

**2.4 影响**

在认知科学传统中，HCI对情绪和情感的处理是零散且外围的。心理学中所谓的“ABC”包括情感、行为和认知。20世纪60年代和70年代，心理学史的前半部分充满了行为主义。从那时起，认知主义一直占据主导地位。情感虽然被考虑过，但并没有被作为一个重要的焦点。

然而，随着具体认知/互动的出现，人们对情绪和情感进行了更多的研究（Jeon，2017）。情感设计（Norman，2004年）、享乐学（Helander，2002年）、感性工程（Nagamachi，1995年）和情感计算（Picard，1997年）是源自不同学科的代表性术语和领域，但在人机交互和人为因素中提到了类似的情感和影响方法。

同样的，这也是艺术和人机交互之间富有成效的交汇点。人们经常用艺术来表达自己的情感和内心状态，艺术经常被设计来激起观众的共鸣和其他情感。当技术认为一个人是一个情感系统，而不仅仅是一个信息处理器时，它应该考虑如何处理他们的表达、调节、预测、理解和对情感的影响。艺术家是这样的一种魔术师：他们可以熟练地操纵或影响人们的情绪状态，HCI研究人员可以将此学习并应用到他们的研究中。此外，艺术家可以利用自己的情感状态和观众的情感状态，借助一定的技术完成自己的艺术作品。这可以扩大表达的可能性，为艺术作品提供额外的审美层次。随着传感和监测技术的迅速发展，我们预计这类工作将大幅增加。但是有些问题仍然没有得到解决，例如神经生理学数据的解释（如，从嘈杂的原始传感器数据中准确解析情感内容）。

**2.5 存在和浸入**

当观众参与到一个艺术过程或作品中时，他们通常会感觉自己身处不同的时间和地点，我们称之为“存在”。一个虚拟环境与完整的体现是一种互相影响并促进的关系。虚拟环境能够通过丰富的感官信息感知和响应用户的全身动作，为用户提供了一个沉浸在任务和环境中的机会，因此，他们可以使用整个身体来探索环境，就好像情况是真实的一样。同时，他们与虚拟环境系统的具体互动将再次增加用户的存在感（Sheridan，1992），刺激他们大脑中的运动区和感觉区。传统上，关于虚拟现实的学术文献使用空间隐喻来描述存在，例如“存在”（Minsky，1980）或“存在于人实际所在环境之外的环境中的感觉”（Sheridan，1992）。虚拟环境的一个关键价值是，它可以为现实的表现提供空间，这是艺术最初的目标之一。这为艺术作品开辟了新的可能性，因为这种活动可以通过虚拟的“存在”进一步扩展。Jeffrey Shaw曾将互动艺术描述为图像、声音和文本的虚拟空间（Kwastek，2015）。有时，交互艺术意味着虚拟的存在。网络技术的进步使虚拟存在或远程呈现成为可能。自1933年以来，未来主义者在其宣言中倡导将无线电作为一种新的艺术形式以来，艺术家们一直采用许多其他网络媒体进行艺术创作，包括卫星、传真机、BTX系统、邮箱、互联网和移动数据网络（Kwastek，2015）。这种远程呈现也使艺术家之间能够进行实时合作。例如，尽管音乐是一种时间敏感的艺术类型，但网络音乐可以同时在不同地点播放。这种类型的作品超越了传统意义上的艺术的“传递信息”，交互可能发生在十分遥远的地方。

# **三、过去:互动艺术史的一瞥**

互动艺术的确切起源是有争议的，但为了本文的目的，我们将从马塞尔·杜尚(Marcel Duchamp)开始。1913年，杜尚也许是对自行车轮毂的新技术感到兴奋，他拿了一个轮子，把它固定在凳子上，然后把它倒挂在他的工作室里。分心（或者说吸引力）的一部分在于旋转它，因此，不管艺术与否，它在最简单的意义上是有交互性的。1953年，雅科夫·阿加姆开始制作他称之为“可变浮雕”的艺术品，观众可以重塑作品。他还制作了其他类型的游戏物品，这些物品必须以某种方式被抚摸或触摸，以便让观众按达到预期的体验。根据Günter Metken的说法，他的兴趣是“释放大众的艺术创造力，鼓励人们进入他作品的精神世界，并根据他们的品味去改变它”（Metken和Agam，1977年）。互动艺术的另一个重要先驱是尼古拉斯·舍弗，他通过一系列创新作品发展了控制论雕塑的概念（哈巴斯克和吉拉德·布尔，1963年）。1956年，他展示了“CYSP 1”，一个用光电池和麦克风作为传感器与舞者和环境互动的动态雕塑。

随着电子技术的发展，制作互动艺术的机会也增加了。例如，爱德华·伊纳托维茨在《Cybernetic Serendipity》(Masterman and Reichardt, 1968)中展示了他的作品“SAM”。SAM看上去像一朵插在短脊梁上的花。它利用液压系统来对“花状”头部的四个麦克风探测到的声音做出反应。SAM在它的交互方式上比大多数早期的作品更为复杂，因为它不仅对声音做出反应，而且还限制了对“可接受的”音量的反应——不太大也不太小。1968年，在伦敦当代艺术学院举办的“机缘巧合控制论”(Cybernetic Serendipity)展览，是早期控制论和计算机艺术的典型展览之一。在他展示了SAM之后，Ihnatowicz继续制作了“Senster”，这是一个非常早期的，可能是第一个，由计算机驱动的交互式雕塑。这是一个非常大的类似龙虾钳子的结构，它可以探测声音和动作，并做出相应的动作，很像SAM的动作，但外观要复杂得多。事实上，它很像长颈鹿，转动它的头，弯下它的脖子来“调查”人类观察者。与SAM一样，用来驱动行为的算法似乎相对简单。正是环境变化的复杂性和算法中的某些规则(比如忽略非常大的噪音)导致了这种复杂的外观。在伊纳托维茨的作品中，很明显，雕塑的外观并不重要。重要的是它如何表现，特别是它如何回应观众。

在Ihnatowicz开发“Senster”的同时，Stroud Cornock和Ernest Edmonds正在用电脑开发另一个名为“\*Datapack”的互动艺术作品。他们使用的电脑和Ihnatowicz使用的很像。这项工作在某种程度上是为了用一个动态的物理例子来说明他们在1970年的会议论文(Cornock和Edmonds, 1970)中的讨论，概述了互动艺术的各种未来。这篇会议论文后来发表在期刊《Leonardo》(Cornock and Edmonds, 1973)上。

这个作品进一步让Edmonds反思了构成他的艺术作品的结构的组织原则和组成元素的含义。计算机改变了基于时间的交互式工作的生成。使用基于计算机的生成系统使他能够在计算模型中说明他想要的形式、颜色和时间间隔之间的相互关系，作品本身则留给软件本身来具体实现。重点是，计算机使Edmonds能够以一种方式表达他对艺术作品的想法，使他能够获得构建和评估结果的一般策略。他可以在计算机程序中指定对象之间的规则和关系，然后生成视觉序列。从这一点上，他可以看出这种认识是如何揭示出底层结构的影响。这意味着Edmonds可以探索和评估不同结构的影响，并根据个人标准改变控制结构的规则。这使得专注于作品的基本特征成为可能，比如一个交互作品的行为方式，而不仅仅是如何构建它。交互艺术作品的创作相对容易，这有助于他更充分地利用计算机来理解结构和互动方面的一些东西。这项工作的一些技术进步发表在这本杂志上（Edmonds，1982；Schappo和Edmonds，1986）。

Edmonds的最新作品在本文中有两个重要属性。首先，他把分布式和互联系统作为艺术品。这一工作基于1970年左右《Communications Games》中提出的概念，即分布式通信作为艺术作品的基础(Edmonds, 2016)。其次，他已经形成了一个新的互动概念，他称之为影响(Edmonds, 2007)。影响这一概念的关键在于理解，当下的直接反应只是互动的一个非常小的子集。影响的概念是考虑一个行为如何可能改变一个内部状态，它或许没有立即的结果，但却会改变长期行为(Edmonds, 2007b)。

AI在互动艺术中非常重要。这种艺术超越了电脑游戏范式，探索终身进化和人际关系的建立。在一个分布式连接的世界中工作，一种新的进化和连接系统的艺术正在出现。这些新艺术形式存在的世界延伸到虚拟、增强现实和物理环境之中。Edmonds开始创作动态演变的作品，他的“塑造形式”系列(Edmonds, 2007a;2017)。图像是使用确定颜色、模式和时间的规则生成的。摄像机捕捉到改变生成规则的运动。每个“塑造形式”的未来行为都是其与世界互动的结果。但是我们这里所说的互动到底是什么意思呢?随着这些作品性质的演变，诸如影响、刺激或交换等词语可能比交互更合适。他还使用机器学习方法来实现他的艺术。他展示了这些方法是如何被扩展到使交互式节点的分布式集合形成一个网络艺术系统的。由作品的分散观众组成的社区集体影响着艺术系统的进步和发展(Edmonds和Amitani, 2008;Edmonds and Franco, 2013)。

我们回顾过去，向前迈进。特别是，Ernest Edmonds的工作涵盖了50年的时间跨度，从最初的交互技术的应用到今天的复杂景观，包括VR、AR、机器学习和人工智能。在这方面，Edmonds的作品很好地反映了交互艺术和人机交互的发展，并可以作为模板，将其他作品置于这一连续的发展之中。

# **四、现在:当代项目及其影响**

随着大量新的虚拟现实设备的出现和运动跟踪技术的不断更新，我们在沉浸式环境中将步入一个互动艺术的新阶段（例如，《Presence》特刊，Jeon和Fishwick，2017年）.另一方面，由于机器学习、人工智能和社交机器人的普及，当前的机器人艺术比以往任何时期都更加广泛（例如，参见ICRA 2018、2019年的机器人艺术项目，http://roboticart.org/icra2019/).为了强调我们在上一节中提到的相互关联的组成部分，并启发艺术家和研究人员，我们将在此章节阐述以下三个领域的当代项目：沉浸式环境中的交互艺术、机器人艺术和艺术中的机器智能。

**4.1 沉浸式环境中的交互艺术**

沉浸式环境中的交互艺术在过去几十年中不断发展。例如，交互声波化的技术和策略变化十分迅速，因此有必要开发新的分类方法，以解释他们（Hunt和Hermann，2011；Siegel和Jacobsen，1998）.对于系统输入，原始视频片段仍然可以使用，就像20世纪80年代最早的系统之一“Very Nervous system”（Winkler，1997）一样。然而，目前许多系统利用了更先进的运动跟踪系统（Jensenius和Bjerkestrand，2011）或可穿戴传感器（Großhauser等人，2012）除了不同类型的输入之外，（Bevilacqua等人2011年）还能通过使用“身体”（用户当前的姿势）、“空间”（用户当前的位置）、“时间”（用户的手势）或三者之间的不同组合对各种方法进行分类。

沉浸式交互音响化平台(iISoP) (Jeon等人，2014)建立在之前发展的诸多相关技术之上，它为艺术驱动的性能研究开发了一个交互式虚拟环境。由于其模块化的特性，iISoP能够多模态输入(由外而内的Vicon相机，可穿戴式的手势和生理传感器)和输出(听觉和视觉)。传入数据通过MIDI或OSC协议被转换并路由到任何DAW(数字音频工作站)或音频程序。数据也会传输到特定的可视化软件程序。这允许艺术家和研究人员实现对任何类型的声波化和可视化映射技术进行即时测试。在iISoP连续进行的多个项目中，本文简要介绍了其中三个项目。

第一个项目展示了“技术如何改变艺术家创作艺术的方式”这是与表演艺术家Tony Orrico合作完成的。在iISoP上，Orrico演示了两种类型的几何绘图件，通过佩戴传感器实现实时的可视化和声波化。其中一幅，他把脸埋在地上的一张大纸上，双手拿着石墨铅笔(图1左)。他推下一堵墙，身子向前冲到了那块木板上。然后，他扭动着握有石墨铅笔的手，一次又一次地回到开始的位置，留下了他运动的图画轨迹。第二个项目，Orrico跪在一张大纸上，用石墨敲击它，同时摆动手臂，在垫子上慢慢旋转。当他在纸画布上绘制这些碎片时，他的动作在虚拟画布上创建了数字化图形（即，墙上的一个大显示屏）。将画布放在地板上或用艺术家的整个身体作画让我们的观众感到十分奇怪，但这并不是一个全新的想法。在20世纪40 - 50年代，Jackson Pollock把画布放在地板上，而不是画架上，用他的各种动作进行绘画。Nam June Paik把脸埋在大画布上，用头发画出了其代表作《Zen for Head》(1962年)。他们打破了传统的形式，因其绘画空间的巨大规模而仿佛进入画中世界，因此他们的作品并不局限于画布，而是扩展到了整个房间的空间(Kaprow, 1958)。在同一条线上，当Orrico绘制他的作品时，基于身体跟踪数据，他的杰作的数字化调整版本显示在大屏幕上。这个绘制过程本身就是一种表演，它很好地反映了“艺术表演模型”的概念。这些数据是艺术家在数据表演期间记录的，他们的身体运动对于深入了解艺术家的身体功能至关重要。这些数据也有助于设计一个专家系统，帮助未经培训的成年人或儿童进行艺术活动。可以分析他们的行为模式、过程并纠正错误，然后将其用于培训那些没有经过严格的训练或学习的新手。



**图1.在iISoP上，表演艺术家在纸画布上作画时，根据他的动作创作将在数字画布上展示(Jeon et al.， 2014)。**

第二个项目是声波化的舞蹈(图2)，其展示了“该技术如何将艺术家的预期角色与意想不到的角色整合在一起”。这个项目的最终目标是让舞者通过舞蹈即兴创作音乐和视觉效果。舞者仍然扮演着预期的角色(舞蹈)，但同时也扮演着意想不到的角色(即兴创作音乐和视觉效果)，这无疑为他们的工作增加了美学维度。在这个项目中，情感被用作手势和声音/视觉之间的沟通媒介。为了识别舞者的情感状态，跟踪系统解释舞者的个人空间和动作力度，并利用可视化和声学算法。除了即时反应外，该系统还会根据舞者的长期行为改变视觉和声音。表现出上文提到的效果。



**图2.舞者通过在iISoP上的舞蹈，在即兴创作音乐和视觉效果方面扮演了一个新角色（Landry和Jeon，2017）。**

这种与众不同的艺术形式的融合聚集了各种流派的规范和规则，从而创造了一种新的、与众不同的融合过程(融合不同的艺术、探索不同的艺术)。

第三个项目，是关于儿童与动物的互动，展示了“技术如何扩展艺术的媒介”。正如强调的那样，让观众参与到艺术作品中来是交互艺术的一个重要里程碑。在这个项目中，孩子们被招募到iISoP里面和一只小狗玩捡东西游戏(图3)。孩子们试图控制一只小狗，但小狗有它自己的意识。根据具体的映射参数，显示视觉和听觉输出，代表所有物体(儿童、小狗和抓取的玩具)的当前位置和运动特征。那么一个关于“意向性”的哲学问题将被提出：“谁在控制/构成声音和视觉?”孩子，动物，还是程序员?为了分析当代艺术，Mitchell(2003)提出了一个新的美学框架，“生物控制复制”，可以定义为“计算机技术和生物科学的结合，使克隆和基因工程成为可能”。然而，它可以指在更广泛的意义上改变所有生物的一种新技术。“网络伦理学”一词源于希腊语kubernétés，其暗示了一种“控制和治理”的纪律(Wiener, 1948)。基于此，控制论是“整个控制和交流理论领域”，无论是机器还是动物。那么，“bios”是指受控制但又抵抗控制的生命体的范围(米切尔)。综上所述，生物控制论是在控制和通信领域的;但与此同时，它又与抗拒控制以及沟通有关。因此，这个项目在本质上是用错误和意外的结果让艺术家和观众感到惊诧(Herath和Kroos, 2016)，但也正是因为这种反作用力，其鼓励了艺术家的艺术灵感。在这里，动物不是作为一件物品，而是作为艺术品的代理人。iISoP的儿童-动物互动表演得分可以是||:去拿!:||这个片段看起来像一个重复，但它会产生不同的结果模式，因为小狗的自主行为每次都在改变，这可以称为生物控制性繁殖。下一节将进一步讨论自主代理(或机器人)和机器智能。



**图3.在iISoP上，动物扮演着为整个艺术品做出贡献的代理人的角色(Jeon et al.， 2014)。**

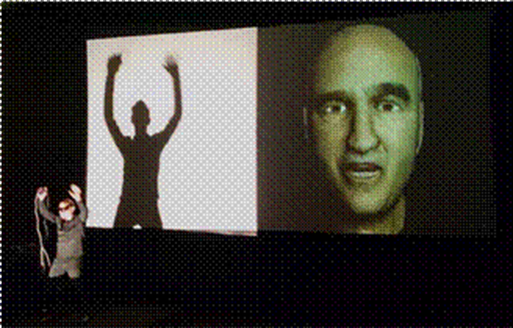
为了激励研究人员在沉浸式环境中探索交互艺术的潜力，我们可以确定这些具体交互项目的含义。首先，艺术家和观众可以体验新的存在，因为增加了空间维度。研究表明，即使在相同的虚拟环境中，不同的超声设计也会导致不同程度的存在和流动（Landry和Jeon，2017）。HCI研究人员可以利用新技术提供一个新颖的游乐场，让艺术家创造新的艺术品。他们还可以相互协作进行新的实验，以测试、验证和完善平台。其次，这种多模态感知和显示平台促进了从具象艺术到表演艺术的范式转变。传统上，雕塑和绘画的观众只能通过艺术活动看到客观的作品，但这些作品本身并不是生动的作品（黑格尔，1835）。相反，在演奏或即兴创作的音乐中，人们可以在眼前体验艺术作品（或过程）。同样，添加额外的维度（例如，在本例中，除了传统画布之外，数字画布中的交互式声音和镜像）可以创建具有时间性（时间维度）和动态性（Mitchell，2003）的艺术品。如第三个项目所示，当观众加入到制作过程时，通过艺术家和观众之间、人和技术之间、甚至动物之间的互动和轮换，这种动态性可以最大化。因此，更多的努力可以放在艺术创作的合作上，而不是仅仅依靠人类的创造力或机器的创造力。为了实现舞者和无人机合作伙伴之间的完全互动，该项目现在在两者之间进行持续性沟通，以便他们能够相互学习和适应（Jeon和Vasey，2018）。

**4.2 机器人艺术**

自动化机械制品的历史比捷克剧作家卡雷尔·乔佩克在其1920年的剧作《R.U.R》（罗塞姆的通用机器人）中创造的“机器人”（从属劳动）一词早了至少几千年。克莱普塞德拉水钟（巴比伦——公元前1400年）、亚历山大英雄自动化剧院（公元前100年）（西西里亚诺和哈提卜，2016年）以及皮埃尔·贾奎特·德罗斯（公元前1774年）（斯蒂芬斯和赫弗南，2016年）最近的音乐剧《淑女和作家》只是几个例子。在古代的自动机和现在的工业机器人之间，对机器人的精确定义还没有达成一致。在本文中，将运动自主性作为机器人的关键属性（Laumond，2016）。这为纯粹基于计算的工件（例如聊天机器人、基于屏幕的工作）和机械人之间提供了明确的界限。它还强调了机器人作为art和HCI之间的调解人所起的独特而重要的作用。Penny（2016）优雅地阐述了这一关系：“[机器人艺术]……是计算抽象与艺术物质性之间的支点”。从本质上说，机器人艺术加强了我们对这两个领域之间的兼容性和共生的内在需要的论证，以实现共同进步。

有了我们对机器人的定义，《Senster》再次为我们提供了一个早期的视角，让我们了解在机器人艺术的背景下，具体的机器代理应该是什么样子的。

澳大利亚杰出的行为艺术家斯特拉克(Stelarc)在过去三十年里一直在尝试机器人艺术，沿着代理和活力的路线扩展其范围和视野。在这个过程中，他探索了与机器人的合作表演，用机器人假肢增强身体，以及其他开创性的工作(史密斯和吉布森，2005)。他的作品提供了一个不断发展的观点，通过这个观点，我们可以探索机器人艺术的进步和艺术状态。Stelarc的兴趣在于身体结构，以及如何通过exoske- letons和机器人技术来增强它们(Stelarc, 2010)。1982年的“第三只手”表演是他对增强身体兴趣的一个经常被引用的例子（史密斯和吉布森）在后来的作品中，机械附件扩展到大型机器人系统上，包括工业机器人手臂和定制的移动平台。这些机器人将展示不同程度的自主性、预编程或者艺术家的直接控制（例如，分割身体/扫描机器人–1992年、外骨骼–2003年、肌肉机器–2003年）这些性能的基础表明了当时机器人技术的成熟，再加上Stelarc对身体增强和扩展的理解，特别是分裂身体的概念——分布式的体现。互联网几乎同时在快速发展。



**图4.艺术家（左）用假头（右）表演。悉尼，2011。**

通过表演对网络化机器人进行试验，如“分形肉体”——1995年、“Ping Body”——1996年和“寄生虫”——1997年（Stelarc，2016年）。这些前沿技术正在智能代理领域同步发展，应用于对话系统、虚拟代理、虚拟代理、虚拟化身和专家系统中的智能代理。Stelarc，是第一批通过“假头”——2003 (Stelarc, 2016)探索人机交互方式的艺术家之一。“假头”是一个具有实时对口型能力的对话代理和(当时)先进的聊天机器人，其包含由艺术家创建的手工数据库。这个屏幕装置可以说是艺术家本人的数字化身(图4)。

**4.3 互动艺术中的机器智能**

1843年，阿达·洛芙莱斯预见到巴贝奇的分析机“可以创作出复杂而科学的音乐作品，无论其复杂程度如何。”从那时起，计算机创造新艺术作品的强大能力激发了无数创新者的想象力。在20世纪，人工智能的创造者们探索了人工智能的每一个新发展如何被用来做新的工作，例如，希勒和艾萨克森在20世纪50年代的“ILLIAC套件”中使用马尔可夫过程，科恩在70年代的“亚伦”中使用专家系统，以及西姆斯和莱瑟姆在20世纪90年代对进化算法的使用。

最近，机器学习技术已被用于生成新的视觉、音频和文本内容，这些内容由现有作品的语料库中挖掘出来(Van Den Oord et al.， 2016;白色,2018;夏普和古德温，2016)。其中一些新内容与人类创作的艺术或音乐作品越来越难以区分，接近“计算创造力”研究者所期望的目标。然而，许多工作都采用了机器学习算法，使生成的内容具有独特的新风格，例如Mord- vintsev、Olah和Tyka的“Deep Dream”项目(Mordvintsev et al，2015)．2018年，佳士得拍卖行以43.25万美元的价格卖出了第一件“算法生成”的艺术品。这幅名为《埃德蒙·贝勒米的肖像》的作品展示了当代生成对抗网络(GAN)算法的视觉风格特征，其属性清晰地将其与照片和训练网络的人类创作的肖像画区分开来。

然而，将机器学习仅仅视为自主生成新艺术的工具，而忽视了机器学习支持计算机在创造性实践中扮演新角色的无数方式是不可取的。事实上，它可以支持人类创造者和机器之间更丰富、更令人兴奋的各种交互。“自主地”生成的艺术品任然需要大量的人工过程，包括实现、数据收集、迭代代码优化和输出管理。

此外，随着机器学习的进步，计算机能够对现有媒体形式中固有的模式进行更精确的建模，它们为支持更强大的媒体操纵技术打开了大门：人类创造者现在可以用一张新的人脸来替换视频中另一个人的脸（Schwartz，2018），改变录音中的话语（Jin等人，2017），并在图像（Zhu等人，2016）或声音样本（Engel等人，2017）之间平滑变形。使计算机能够更好地理解人工生成内容的机器学习算法也为内容感知界面的研究铺平了道路。例如，中子元素音频编辑器自动识别音乐曲目中存在的乐器，以确定如何处理该曲目（例如，它的均衡化）（Wichern，2017）。因此，中子可以加速非常艰巨的混合任务，使用户花更多的时间在更有创造性的满意的任务。

能够更接近模仿人类工作的媒体生成方法也促进了人类控制媒体创作和与媒体创作互动的新型界面。例如，JukeDeck(https://www.jukedeck.com)为视频创作者提供一个高级界面，用于为他们的视频生成自定义的音乐曲目，Magic Sketchpad(https://magic-sketchpad.glitch.me/)完成用户的涂鸦、 (https://magenta.tensorflow.org/ studio/）为音乐家提供了完成部分旋律和鼓型的工具。

此外，机器学习还可以用于建模其他类型的数据，而不仅仅是媒体本身，以帮助从事创造性工作的人。例如，艺术、音乐、游戏和舞蹈的交互式数字系统，能够准确响应人类的手势或动作，这可能是一项相当困难的任务；即使是专业的程序员也可能在编写代码来准确分析传感器(可能是高维和嘈杂的)感知到的人类动作，并将这些动作映射到视觉、声音或其他计算机生成的响应中的动态变化上有困难。机器学习为创造者提供了一种高效、准确的方法，使用人类动作的示例和这些动作所需的数据响应来构建这样的系统，同时还支持一种更具体的数字图像设计方法，创作者可能会发现它比使用传统计算机编程更令人满意（Fiebrink等人，2010）。

最后，机器学习在日常生活中的无处不在，以及它与复杂的伦理、经济和政治问题的交叉，使机器学习本身日益成为艺术创作的一部分。Memo Akten的“Learning to See”(2017)探索了关于人类和机器学习以及大规模监控的关系，使神经网络在“通过”监控摄像机“观察”时学习到的表征可见。R.Luke DuBois和Zachary Lieberman（2018年）的“Face Values”，是一个互动装置，让参与者能够进行面部分析和标记算法的探索。

总而言之，机器智能与人类创造力有着长期且日益丰富的关系。它能够越来越忠实地模仿人类的创造性工作，同时但它也支持新的工作风格和人类参与创造的新模式。上面的例子支持业余爱好者和专家创造更高质量的内容，在设计中促进具体化的交互，并焕发出新的有趣的灵感。机器学习的这些用途也提出了新的人机交互挑战。创造者对于机器学习算法和相关工具，可能与其他用户有不同的需求。例如，需要实时运行的来支持现场表演的系统。与许多其他领域不同，创作者可能更感兴趣的是机器学习模型的美学质量或实用性，而不是忠实地为现有的训练集建模，从而实现“交互”的机器学习方法，在这种方法中，人们操纵训练数据以控制适用于多任务的模型（Fiebrink等人，2011年）。即使有了为创造性工作量身定制的算法和软件包，创造者可能仍然难以理解如何最好地配置机器学习算法以实现预期的结果，甚至无法理解机器学习算法能够实现什么(Fiebrink, 2019)。对机器学习的创造性使用也引发了新的伦理和法律问题。例如,谁是一个视觉艺术的创造者?回答这类问题可能不仅需要了解机器学习算法和数据来源，还需要了解人类交互和创造性参与的类型，这些都存在于创作新艺术品的过程之中。

# **五、现在:** **合作努力的挑战和机遇**

**5.1 跨学科合作模式**

“我们应该犯更多的错误！”一位艺术家命令他的工程师为他最新的机器人艺术装置工作（Herath，2016）。这是在一系列编程错误导致大型工业机器人以一种意外的方式运行之后。工程师惊讶地发现，他的“糟糕”编程受到了艺术家的“鼓励”，甚至“赞扬”，而不是谴责。他感到很惊讶，但也松了一口气。于是，国际著名行为艺术家Stelarc和工程师Herath之间的长期合作开始了。这一轶事突出了多学科合作中的几个关键问题，特别是当学科实践属于不同的领域时，其中的方法和术语有很大的不同。

在探索这种极端情况之前，让我们先来考虑一下在科学领域的合作，在这些领域中，不同的子学科有着相互的联系。正如Bordons等人(1999)指出的，跨学科研究被认为是促进科学进步的一个必要因素，研究人员经常需要跨越学科边界。他们在研究一项专门以鼓励跨学科研究为目标的方案时指出:

（1）项目中的协作伙伴分别发布自己的研究成果，因为他们通常使用不同的发布渠道。

（2）成为研究项目提案的合作伙伴后，可以获得项目的资金。但是，在项目特许后，不同的团队成员分别进行自己的工作和发布。

（3）研究团队在项目中共同工作，但由于学科整合过程中的一些困难(科学、组织、经济等)，仅有一半的项目发表了跨学科的成果。

这些情况暗示了跨学科的挑战，即使是在一个单一的领域，例如，研究成果的衡量标准是学术出版物的好坏。从上述研究可以得出三个推论:

（1）如果没有针对性的激励机制(无论是金钱上的还是其他方面的认可)，跨学科合作就不太可能发生。

（2）当这样的协作确实发生时，协作的团队仍然倾向于在属于他们自己的子学科的项目上独立工作。

（3）没有明确的指标来衡量一个跨学科合作的成功与否。

艺术和技术的合作支持了这些发现，同时也发现了一些其他的东西(Candy等人，2018年)。回到上述关于艺术家和工程师的轶事，有人可能会说，当合作发生在两个不同的领域时，风险和合作失败的可能性要高得多。Herath与Stelarc合作的项目最初是美工和工程师之间的对话，这是一个简单的执行问题，类似于客户和承包商讨论项目。美工遇到问题，工程师解决问题。这可以被看作是最基本的合作，特别是在艺术和科学/技术交叉的项目的早期阶段——艺术家和科学家/工程师之间的合同。在这个阶段，合作者可以对彼此的纪律实践保持不可知。只要艺术家能够清楚地表达出需要解决的问题，工程师(或科学家)就能够探索潜在的解决方案，并构建艺术家所寻求的必要设备。这种基本级别的协作非常符合上面提到的三个推论。在美工实现他的概念时，工程师会得到金钱补偿作为合作的动力。在开发过程中，工程师相对独立工作，然后美工接管所有权。对于工程师来说，成功的衡量标准是艺术家概念的准确实现。对于艺术家来说，它是公众对作品的认可。在这个特殊的例子中，艺术家最初设想的概念是一个动态雕塑，其中一个工业机器人手臂被预先编程，通过一系列的动作来传达机器人的某种程度的活力——前一节描述的“假头”项目。

如果协作在这一阶段幸存下来，那么它将会进入下一阶段——协作承包阶段;一个由政府和公司合同驱动的框架(Amirkhanyan et al.， 2012)。虽然合作各方现在对彼此的工作有了更大的兴趣和所有权，但他们仍然可以相对独立地工作。同样，上述三个推论是正确的。正如Velonaki et al.(2008)所指出的，我们认为，这种开明的参与合作方式需要合作者拥有以下特征：

（1）同时拥有共同的目标和个人的目标

（2）信任(不仅仅是交流技能和发展共同语言)

（3）相互尊重(以及包容不同观点的能力)

在多学科实体内发展这些特征需要时间（Amirkhanyan等人，2012年），正如我们所经历的那样，这是从环境成熟且合作者愿意接受更丰富的“合同”的阶段自然发展而来的。除此之外，明确定义的目标和可交付成果仍然是实现成功合作的合同的重要因素。

在“假头”项目中，人们认识到，通过集成一套复杂的传感器和计算算法，可以实现更具吸引力的艺术作品，从而将动力学雕塑的原始概念转化为交互式装置。在与艺术家协商后，工程师对系统进行了更新。这要求艺术家相信工程师的直觉，工程师尊重艺术家对艺术品完整性的需求。其结果是公众体验增强，艺术家和工程师之间的合作意识增强，并在多个相关研究领域做出了贡献，包括人-计算机和人-机器人交互研究（Kroos等人，2011年）。我们可以观察到，我们先前做出的关于多学科合作的三个推论仍然成立。激励措施仍然基本相同，合作者仍然可以相对独立地工作，从彼此的角度来看，结果是独立的。然而，现在各个合作方试图去理解彼此观点，各方的合作意识增强了。

至少在离散的情况下，合作合同可以合并成真正的合作，即合作者朝着一个特定的目标努力，超越独立工作的需要，并在不同学科中获得同样有效的结果。这种类型的合作很少见，我们发现这种合作和合作合同之间的界限很模糊。随着Herath和Stelarc项目的进展，一位计算语言学家加入了该项目，他们有时会侵入彼此的领域，以改善研发成果。这种程度的协作需要合作者之间最强烈的信任，以及一种与生俱来的对其他事物的接受，即所有观点在给定的环境中都是同等重要和有效的。在这种信任水平上，所有认为一种做法优于其他做法的偏见都会消失。

对于“假头”，该装置得到了公众的喜爱(被邀请在公共博物馆安装了两年)，获得工程界的认可，被授予工程卓越奖(亚军)，并在以艺术为导向的场所发表了一份期刊，但其“足够”的工程内容足以成为一个行之有效的“科学”贡献。

然而，当将合作合同扩展到真正的合作领域时，需要谨慎，因为可能会有过度热情的倾向，而忘记了最初的合作原因。正如Stelarc所指出的，这可能导致“高技术，低艺术”，或者正如另一位著名艺术家所讽刺的那样，“工程师创造了糟糕的艺术或艺术家创造了糟糕的工程!”

艺术(广义上是人文学科)和科学之间真正的多学科合作本身就是一种艺术，需要长期的培养。一旦成功，它们的贡献可能超过其各部分的总和，从而以深刻的方式推动其所包含的每一个领域的发展。有针对性的资金投入是创造多学科合作的基本催化剂，但更重要的是，意识在所有层面都至关重要。在这方面，教育，特别是包含跨学科性和支持软技能发展的新课程的开发，如广义的交流，变得十分重要。随着HCI和HRI的成熟，在这些领域工作的团队必须善于形成并维持真正的跨学科合作，既要有竞争力，又要在这些新兴领域做到与时俱进（Underwood，2018）。

**5.2 展望与结论**

在本文中，我们讨论了交互艺术和人机交互如何相互影响和学习，并展示了它们是如何相互协作的。正如观众的参与和体验对当代互动艺术的成功至关重要，用户的参与和体验也是人机交互的核心。当然，交互艺术和人机交互的最终目标和具体实现可能有所不同。HCI专注于可用性和优化等问题，而艺术则专注于美学和情感。然而，当互动艺术和人机交互融合在一起时，就有了互惠互利之处。特别是，设计可以为技术研究提供一个宝贵的空间，使他们能够相互满足。从艺术的角度来看，HCI可以为观众提供新颖的临场体验，为艺术家提供更多的研究和实验机会。从人机交互的角度来看，艺术可以基于具体化创造新的表现和交互，并有助于设计情感智能和交互系统。希望我们能在这个话题上提供有价值的见解，并进一步激发艺术家和研究人员的积极性，下面我们简要地提出一些建议：

（1）整合风格、形式和技术。电影、音乐剧或游戏可能是瓦格纳所梦想的综合艺术作品的当代版本。然而，由于VR和360°摄像机等新技术的出现，甚至连电影也在不断发展。

（2）丰富和延伸时间和空间。由于技术的进步，我们正在克服人类的一些基本限制。多亏了网络技术，我们可以实现同步和异步交互(影响)。我们也可以用虚拟和虚幻的现实来扩展我们的空间。

（3）了解不同层次的互动，并选择最合适的。并非所有互动艺术都需要完全的交互性。然而，实践不同层次的交互性就像在军械库中拥有更多武器。

（4）思考协作创造力(Colton et al.， 2009;科尔顿和威金斯，2012)。人们现在可以用智能技术，和成千上万的人，甚至是动物一起创作新奇的艺术品。

（5）搭建协同设计研究平台。当艺术家和研究人员有一个共同的研究场所时，他们很可能会一起工作，这将导致协同效应。

（6）用平易近人的技术，营造平易近人的环境。不仅是受过训练的专家，而且儿童或老年人也应该能够用技术做出一些特别的东西(Dissanayake, 2003)。不仅是程序员，美工和设计师也应该能够在没有额外帮助的情况下控制和修改系统的配置。例如，技术可以让我们设计出盲人看得到的视觉艺术作品，以及行动不便的人看得到的虚拟现实环境。

（7）提供更多的教育机会。艺术和设计有助于STEM教育。互动艺术和人机交互都是跨学科领域，因此很难进行教学。现在许多研究所出现了越来越多的跨学科项目和中心，这是一个好现象。如果人们不仅能学习理论和技术，还能学到许多关于协作、项目管理等实用技能和知识，那是十分可取的。卡登泽(https://kadenze.com)是这类STEAM教育的成功在线项目之一。

（8）更新分类法。用全新技术进行的实验很有可能创造出全新的、不可预见的艺术风格（Colton和Wiggins，2012）。研究人员希望尝试接触、组织和分类这些作品。研讨会或期刊会对这类研究有所帮助。这些作品将指引我们，去创造新的可能性。

（9）为这些合作项目提供更多的融资机会。

我们相信，随着技术的飞速发展，艺术家和研究人员之间的这种合作将继续下去，甚至会加速。艺术家和研究人员将继续共同研究重要的研究问题。我们将逐渐从使用交互技术进行艺术创作演变为使用智能技术进行艺术创作，更加深入地了解人、交互工件/环境以及两者之间的交互行为。