

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：面向心理学的虚拟现实实验开发工具

作者：韩明，蒯曙光

第一轮

审稿人 1 意见：

该论文是一篇技术型综述，系统地回顾了 2016 年以来公开发表的心理学虚拟现实实验工具，并对这些工具的适用范围与技术特点进行了介绍，为研究者提供了参考。随着虚拟现实技术的成熟，越来越多的研究者开始尝试使用虚拟现实技术进行研究。但研究者的虚拟现实编程门槛是很多研究人员难以在短时间内逾越的。这篇综述对市面上现有的大部分虚拟现实实验工具进行了总结和梳理，可以帮助那些想要利用虚拟现实进行实验研究的人快速选择适合自己需求的编程工具。从这一点上看，该论文是很有实用价值的。同时，该综述的作者还提出了一个“研究者-开发者-参与者”相互独立的元框架开发模式，希望为未来理想虚拟现实实验工具的开发提供指导。我赞同该元框架的基本理念，但我觉得要想真正实现这一框架可能还需要不少时日。所以，我希望论文的作者能够对文章做一些修改，进一步提升其前一个实用价值（即帮助研究人员快速找到合适自己的虚拟现实编程工具）。为此，我建议：

在“讨论与展望”之前增加一个模块，结合表 1 的内容，更系统更细致地向具有不同需求的研究人员推荐相应的虚拟现实编程工具。甚至在表 1 中可以增加一栏，告诉读者对于这些不同的编程工具，如果想要上手，需要有哪些前置的编程基础。这个新增加的模块可以按照潜在的心理学研究需求进行分类。

回应：非常感谢您对本文工作的支持与肯定，同时也非常感谢您提出的建议。我们对“讨论与展望”部分进行了修改。现在共包含“5.1 对当前工具箱的总结”、“5.2 工具箱的未来发展”和“5.3 基于云端共享的元框架开发模式”三个部分。在 5.1 部分中我们按照您的建议系统化的向不同研究人员提供了开发指导，并在表 1 内添加了“使用所需前置基础”一栏。对于元框架开发模式，确实是一项复杂的技术愿景，正如您所指出的，目前仍需大量技术推动。为了使此部分讨论内容更加线性，并且便于读者理解。我们添加了 5.2 小节，讨论了当前能够实现简单元框架模式的技术可能性。同时在 5.3 小节中，我们对原“研究者-开发者-参与者”框架的论述部分内容进行了删减，放在了文章末尾。相关修改均在文中以红色进行标注，方便您查阅。

审稿人 2 意见：

该论文详细综述了当前利用虚拟现实技术开发心理学实验程序的工具包，指出当前的这些工具包的通用性和适用性不足的问题，并提出以元框架和实验即代码的理念来重新设计开发新的开发工具的设想。显然，这一工作是非常值得推崇的，也需要心理学同仁的鼓励和支持，尤其是往未来迭代升级的方向看的时候更是如此。基于这样的考虑，提出以下问题请作者思考回答。

回应：感谢您对本文工作的认可。元框架开发模式的确是一个复杂的技术愿景，我们很乐意

与您进一步探讨这部分“讨论与展望”中的内容。为了更加具体的表达我们的观点，我们添加了一些技术细节，并对讨论部分进行了修改，并将其标注为红色。

意见 1: 论文中提到相关现有工具包的问题较多，但对基于虚拟现实技术的心理学实验的相关问题了解得很少。虚拟现实技术虽然可以用来做几乎所有心理学类实验，但相对来说，只有部分实验更需要这样的技术，如涉及到一些与情境仿真、空间、以及特别的模拟等相关的实验。知觉、记忆等方面的一些特别基础的认知神经机制的实验其实更多的时候需要的是简单的刺激及其呈现方式。因此，以现有的基于计算机屏幕的 2D 呈现工具包为参考并不合适，这一点很关键，后续开发与使用中一定会突显出来。至于能否开发出一款通用的、适应的工具包，我认为是可能的，但难度确实不小。实际上，我个人认为，相比于这样的难度，如果能够结合当前的人工智能大模型开发出了款协助解决心理学实验中常用的功能的自动代码器更合适。

回应: 感谢您指出这一问题。您所提及的“因此，以现有的基于计算机屏幕的 2D 呈现工具包为参考并不合适，这一点很关键，后续开发与使用中一定会突显出来。”，在这一点上，我们其实与您的观点一致，如引言部分所述“虚拟现实开发的复杂性使得无法直接套用传统软件模式”，我们强调使用新方法解决虚拟现实开发问题。而讨论部分“在这一点上平面心理学软件 PsychoPy、Psybuilder 就给出了很好的示范”所指出的是两种软件高度界面化的元框架方法论，这可能产生了误解。为了进一步清楚的表达观点，我们将这一句修改为“例如，平面心理学软件 PsychoPy 和 PsyBuilder 在设计与开发阶段的有效分离上提供了很好的示范 (Lin et al., 2022; J. Peirce et al., 2019)”。

在技术细节上，根据我们目前的经验，可视化编程语言 (Visual Programming Language, VPL) 是作为新技术方法强有力的候选者。例如，Unity 引擎的 Visual Scripting 系统已经在虚拟现实游戏的开发中得到广泛应用 (示例参见 <https://github.com/avashly/unity-visualscripting-samples>)。该系统能够有效地设计事件逻辑、模型动画和操作控制等方面的内容，能够实现大部分 Unity 内部的编程功能，显著提升开发效率。Visual Scripting 的优势在于降低了编程的门槛，使游戏创意人员能够直接参与开发过程，而不需要掌握传统的编程语言。此外，Visual Scripting 提供的直观界面和可视化节点结构，有助于更好地理解 and 调试复杂的逻辑流程。从现有的多种 VPL 系统中汲取经验，开发专用于心理学研究的 VPL 系统，我们认为可以大大促进虚拟现实研究的发展，并突破传统 2D 逻辑框架的限制。对于以上内容我们在 5.2 小节进行了修改。

最后，我们也非常感谢您对自动代码生成器的看法。根据我们的经验，当前基于 GPT 等大语言模型的代码生成器，已经能够通过自然语言快速编写简单函数。然而，在处理复杂程序框架时，它们仍然缺乏有效的处理手段。同时现阶段虚拟现实实验开发离不开游戏引擎操作，如何将训练的大语言模型整合到游戏引擎之中也是一个技术难题。此外，自动代码生成器似乎并未解决虚拟现实实验程序开发缺乏统一性的问题。相比于“实现”虚拟现实实验，我们提出的元框架系统更多地关注于实现后的“共享与促进”。不同实验室和团队在虚拟现实研究中的工作风格各异，导致整合不同实验程序变得困难。例如，研究者 A 公开的实验程序与研究者的 B 的实验程序，由于开发风格不同，想要将两者结合功能仍需要专家重新编写代码。引入一个 VPL 标准化接口 (类似 API) 能够有效解决这一问题。这样的标准化不仅能避免重复开发，还能促进资源共享和协作，推动整个领域的共同进步。同时，在这个体系下，研究者可以通过使用自动代码生成器快速生成 VPL 中的新自定义节点或事件 (类似模块化函数)，加速开发过程，减少人为错误。对于我们所缺失的、关于人智能的讨论我们在 5.3 小节进行了补充。

意见 2: 再从技术层面来看, 虚拟现实心理学实验涉及到的技术很广泛, 远不止是交互设计代码。根据我们的经验, 动画, 动捕, 建模, 特效, 交互方面的技术都需要。更可怕的是, 与 2D 呈现对标准计算机软硬件适配相比, 虚拟现实显示设备、相关制作软件、及开发引擎的适配极其麻烦, 这部分的技术学习又占据了很大一部分, 而且差异性大。一个简单的例子, 从 OCULUS 头盔转移到 HTC vive 头盔, 交互设计方面的代码几乎都要重新写, 还有一些动画、特效等的适配都可能遇到同样的问题, 这才是使用者的烦恼。还有, 同一厂家的设备, 同一款游戏引擎, 升级更新后就可能出现很多兼容性问题。如果只是做成一个简单的工具包, 缺乏足够的兼容性和及时更新不足, 很难想象能被大家接受使用。作为通用工具来讲, 动画, 动捕, 建模, 特效, 交互编程开发这些想全部放到工具包里可能性也不大, 当然, 以后有人工智能的帮助完全是有可能的。

回应: 感谢您的建议。我们也曾遇到过与您相似的 VR 实验开发经历, 因此产生了对于工具类问题的关注。从本质上来讲, 元框架开发模式的本质就是为了解决这些使用者烦恼而提出的。我们依旧以 VPL 结构为例。用户所接触到的图形化界面中的各个模块化的节点只包含相应的功能, 通过提供输入变量与输出变量即可执行特定功能, 而编写节点背后功能的代码则由开发者预先提供。因此 VPL 可以视为面向使用者的图形化界面系统与面向开发者的代码系统。对于使用者的图形化系统如果功能与输入输出变量不变, 背后开发代码的实现形式并不影响其功能。在心理学中, 我们可以将实验功能视为一套元框架系统, 我们认为实验逻辑需求如“收集反应时”、“虚拟人向被试行进”等抽象概念可能并不会会有太大改变。做一个比喻, 可以将研究者设计研究逻辑的过程视为绘制工程项目的“蓝图”, 而构建实验则是将实验逻辑代码化的“施工”过程。当发生软件更新、虚拟现实设备 SDK 切换时, 蓝图的“施工”方法可能会发生变化, 但生成结果依然是相同的, 这也是元框架系统实现跨平台部署的基础。实验设计的“蓝图”也可以作为永久性副本进行保存, 便于阅读理解和研究者分享自己的学术成果。

同时, 正如您所指出的, 构建这样一套系统并不是一项简单或一劳永逸的工作。仍然需要具备开发基础的研究者持续参与。从严格意义上讲, 元框架并不是一个工具包, 而是一个开源平台。经验丰富的研究者在使用元框架系统获益的同时, 可以选择将自定义的实验方法(节点)上传。这样可以帮助新研究者使用和引用这些经验丰富的开发者的自定义方法, 避免二次开发。尽管可能无法立即实现这个理想目标, 我们可以通过版本迭代逐步逼近这一目标。例如, 先开发一套基于 Unity 的离线框架, 逐步添加功能与方法, 最终升级为共享平台。对于以上内容我们在 5.2 小节进行了修改。

最后, 也如您所正确指出的, 虚拟现实中的技术问题正在借助人工智能迅速发展。据我们所知, 目前已有一些先进技术, 如从二维图片生成高度详细三维模型的技术(如 NVIDIA Instant NeRF)、生成高精度虚拟人技术(如 Meta Human)、从视频中获取动作捕捉文件的技术(如 Deep Motion), 在未来都可以让心理学虚拟现实研究变得更加轻松, 大幅简化以前需要大量经费和时间的任务。尽管这些技术在不断进步, 但目前仍需要一定的技术背景和专业背景知识才能有效使用, 这一问题短期内难以改变。对于心理学工作者而言, 掌握这些复杂技术原理并非必要, 更重要的是简化这些技术的使用, 使其更成熟地应用于心理学研究。因此, 一个不断扩展功能且兼容先前开发功能的平台, 将在未来显得尤为重要。

意见 3: 鉴于文稿中设想的通用工具的复杂性, 要做到灵活性和易用性的结合, 并不容易。至少, 从当前作者的设想思路中我看不出这样的优势。诸多的技术链条如何拼接, 适配, 还有心理学实验对场景和模型、角色的高精要求, 这些都是工具包本身难以解决的。心理学虚拟现实实验与传统的计算机屏幕刺激呈现实验工具差别很大, 建议作者就此进一步深入研

究探讨。

回应：感谢您的建议。本文探讨了当前虚拟现实工具开发的前沿趋势，但这项新技术思想能否在未来成为主流还有待时间的考验。我们希望前两个问题中对 VPL 系统的论述能更清楚地表达我们如何处理元框架系统中技术链条的拼接和适配，超出单个工具包的局限。

在虚拟物体和虚拟人建模方面，研究者通常可以在 3D 模型商店中以较低的价格获得所需资源，工具包的工作重点在于如何正确配置这些资源的属性和材质。然而，定制化的电影级虚拟人模型可能仍需要昂贵的扫描过程。因此，我们提议建立一个实验刺激共享网站，让研究者可以分享他们的实验刺激资源，方便其他研究者下载和引用。我们在 5.1 小节中对此进行了补充讨论。

第二轮

审稿人 1 意见：

感谢作者对我之前建议的认真考虑，并增加了相应的内容。我现在没有其它问题了。建议编辑部接收该论文。

回应：非常感谢您的肯定，您的宝贵建议对本文的改进起到了非常重要的作用。

审稿人 2 意见：

意见 1：作者对提出的问题做了回答。应该说，这样的工作作为一个小工具在当前来看是有价值的，但要说真的是做一件对心理学学生或研究者做 VR 实验来说有价值的事，面临的不确定性还是明显的。个人理解，作者回复提到建一个共享的资源平台可能是个更好的工作。

回应：再次感谢您的建议。针对您的建议我们对当前元框架工具思想的讨论部分做出了如下修改：

1. 我们对讨论中的元框架开发模式进行了更加客观的描述与讨论，同时增添讨论了这种技术手段的可能局限性与未来不确定性。
2. 对元框架作为共享平台功能进行了更多的讨论。

意见 2：此外，作为综述文章来看，应该多些有关基于虚拟现实环境的心理学实验的探讨和分析会更有价值。中国学者中愿意在技术上做贡献的不多，所以，对真有意愿做的要支持。

回应：感谢您的建议和支持。基于当前综述主题，我们增添了一些关于心理学 VR 实验技术最新研究的介绍与讨论，并引用了相关技术的综述分析类文章。我们相信这可以为心理学研究者提供更多有用的技术信息。例如“与传统屏幕相比，使用 VR 头戴显示器进行事件相关电位（ERP）研究显示出更强的信号强度(Aksoy et al., 2021)。通常情况下，脑电帽和 VR 头戴设备可以直接结合使用(Hofmann et al., 2021)，但当 EEG 与 VR 结合时，头戴设备对 EEG 传感器施加的物理压力可能导致头部运动引入更多噪声和信号失真(Tauscher et al., 2019)。一些研究表明，通过适当的技术手段，如对 VR 头盔的定制改造和改进滤波分析算法，可以有效减少运动伪迹(Butkeviciute et al., 2019; Li et al., 2023)。”以上改动均在文中以红色文字标出，我们希望这些改动能够增添文章的丰富度与客观性。

编委 1 意见：同意发表。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：非常前沿，实用性强。同意发表。