

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：听觉刺激对虚拟环境中空间压缩的影响

作者：胡晓斐，汪嘉维，刘涵宇，宋晓蕾

第一轮

审稿人 1 意见：

该论文所描述的研究针对虚拟环境中空间压缩的问题，该论文通过两个实验，分别探究了听觉刺激能否改善空间压缩和视听刺激的距离如何影响空间压缩的问题。空间压缩问题是虚拟现实的研究和实践中的关键工程心理学问题，而该研究弥补了虚拟环境中一致的视听刺激和纯视觉刺激比较研究的空白，同时针对虚拟环境中空间压缩问题提出了改善的方法和具体参数，因此，该研究有一定的理论与实践意义、符合《心理学报》的征稿范围和读者的兴趣。论文自检报告所提及的内容与论文正文未见冲突之处，整体行文也大致符合相关撰稿要求。我的意见是该论文如果经过一些必要的修改，有望在《心理学报》上发表。文章的以下问题，请撰稿人可以在修改稿中回应：

意见 1：

对实验设计的缘由和细节做补充说明。

(1) 关于实验范式的选取。(A) 为什么选择此范式？此范式研究空间压缩的基本原理是什么？(B) 此范式中，为什么调整刺激的初始物我距离要比参考刺激小 0.5 米？(C) 一次试验中，受试者为什么要进行 30 次距离判断？在少于 30 次时，被试是否可能已经确信距离是相等？这种情况的数据如何处理？(D) “纯视觉”和“视听”条件差异不仅在有无听觉刺激，还存在“视听”比“纯视觉”条件多出一倍的学习时间的问题。如何排除条件间额外变量的影响？

回应：

感谢审稿人的宝贵意见，以下是对相关问题的说明和回答。

A) 以往对于虚拟现实空间中空间压缩的研究一般采用四种方法：口头报告法，感知引导行为，想象行为和感知匹配法。在口头报告法中，受试者需要以米或英尺等距离计量单位口头回答自己感知到的距离，但是该方法易受到受试者早期经验以及对距离计量单位认知的影响。在感知引导行为法中，受试者需要通过盲走或三角盲走等动作，将自己所走过的实际距离作为自己对最初看到的的目标距离的回答，但是该方法对于实验场地的要求较高。在想象行为法中，受试者需要在脑中想象自己的行走，通过将想象行走的时间与受试者的行走速度相乘，得到其对于当前目标的距离判断，但是该方法会受到受试者对于时间长度认知的影响。在感知匹配法中，受试者可利用心理物理学中的调整法，不断调节刺激的位置使其与之前出现的目标刺激距离一致，抑或是心理物理学中的固定刺激法，多次进行二选一的强制回答任务，得到最终的判断。感知匹配法利用认知心理学领域中的心理物理学方法，避免了以上三种方式的缺点，通过测量受试者主观判断距离相等的点，得到最终的判断结果。尽管如此，以往研究所采用的调整法和固定刺激法仍有缺点。调整法易受到受试者适应效果的影响，对于绝对阈值的测量并不准确；固定刺激法则极其花费时间，同时对于刺激相关参数的选择要求极高。鉴于此，本研究采用心理物理学适应法中的阶梯法，通过受试者对上一个试次中距离判断任务的二选一强制性回答，实时调整下一试次中视觉刺激的相关参数（本研究中为调整视觉刺激的物我距离），从而在减少实验时间的同时，有效的测量每位受试者的主观距离

判断。我们将相应内容增补到修改稿的背景介绍部分。

B) 进行一个心理物理学实验时，最首要同时也是最重要的一步就是设置初始参数。本研究中的调整视觉刺激的初始物我距离（小于参考刺激 0.5 米），每次根据受试者回答后调整的距离（5 厘米），以及实验结束的标准（30 次）都属于初始参数。初始参数的设置是需要基于一定的先验背景的。空间压缩是一种已经被大家所熟识并且较为稳定的现象。若是初始的调整视觉刺激与参考刺激的物我距离一致的话，那么每位受试者的回答都会是一样的，从而导致白白浪费一个试次，因此调整视觉刺激的初始位置应该小于参考刺激，使得我们无法预估每位受试者的回答。同时，Armbrüster 等人在他们的实验里发现，当物我距离为 4 米时，23 名受试者的平均主观距离为 3.2 ± 0.3 米左右。为了使得实验中每一个试次中的视觉刺激的物我距离都在最终结果附近变化，对于 4 米物我距离的实验来说，我们设置调整刺激的初始物我距离为 3.5 米（即比参考刺激小 0.5 米）。由于我们有三种物我距离的条件（3, 4, 5 米），我们将比参考刺激小 0.5 米作为每一个物我距离的初始设置。通过以上设置，我们可以保证每个实验的每一个试次都有价值，从而尽量缩减整个实验的试次数，减少受试者的负担。我们将相应内容增补到修改稿的背景介绍部分。

C) 30 次是一个心理物理学实验中比较常用的结束标准。以往经验表明，实验经过 30 个试次后，受试者对于具有相同参数实验刺激的回答开始变得随机。换句话说，此时的参数将会收束在阈值附近，可以被认为是最终答案。若是实验小于 30 个试次时，受试者的回答仍具有偏向性，即仍有大概率做出相同的回答，使得刺激参数暂未收束在阈值附近，得到的结论也就不是他们的主观判断距离相等点。第 30 个试次之前的数据都是受试者不断进行调整的过程，我们不需要关心。最终的数据才是有价值的需要进行分析的主观判断距离相等点。

D) 本研究中的视听条件是指，参考视觉刺激和听觉刺激同时呈现 5 秒，之后又同时消失。因此，纯视觉条件和试听条件的学习时间应该是一样的。我们在修改稿中着重强调了视听刺激的同时呈现和同时消失。

意见 2:

研究者共招募 30 名被试，30 名被试先后参加实验 1 和实验 2。同时，所有条件（共 6+12 种条件）均为被试内。如何排除条件间相互影响和练习效应？被试是先完成实验 1 的所有条件再做实验 2 的条件，还是全部随机呈现？

回应:

实验 1 和实验 2 在同一天完成。为了避免练习效应，对于每个受试者来说，实验 1 和实验 2 的全部条件都是随机呈现的。我们在修改稿中强调了这一点。

意见 3:

关于自变量的设置，需要补充“物物距离”、“物我距离”条件设置的原因。例如，实验条件“物我距离”的设置中，为什么将物我距离设定为 3、4、5 米？若起始值设置为 3 米，是因为以往研究中发现“空间压缩”是在至多距离为 3 米就可以发生的现象，那研究者需要描述设置其他物我距离条件的原因。例如，为什么不设置更远的距离，为何设置间距为 1 等。

回应:

正如审稿人所说，我们将最小的物我距离指定为 3 米是因为 3 米超过了先前研究所报道的大部分转折点的距离，确保了空间压缩在本研究实验过程中的出现（Anderson & Zahorik, 2014; Armbrüster et al., 2008; Finnegan et al., 2016; Zahorik et al., 2005）。我们在修改稿中敲掉了这一点。

至于设定最大的物我距离为 5 米，那是因为我们发现以往研究大都测量了物我距离为 5 米时的空间压缩现象（Armbrüster et al., 2008; Buck et al., 2021; Finnegan et al., 2016; Róbillat et al.,

2012)。为了与以往研究的结果相对比，我们也设置了物我距离为 4 米和 5 米时的实验条件。我们在修改稿中增添了这一点说明。

意见 4:

关于因变量的设置，研究者将“空间压缩率”设置为空间压缩程度指标，但缺少使用此指标的文献支撑和使用说明。（A）为什么使用“空间压缩率”作为因变量？该变量是怎样计算的？是否有文献支撑？（B）若存在空间压缩，则被试感知的物我距离应小于实际的物我距离，据文章描述，计算应为负值，但实验结果显示为正值，研究者未对此结果进行说明。若被试实验结果的空间压缩率为正值，则被试感知的物我距离大于实际的物我距离。此时是否仍为“空间压缩”现象？是否应该纳入实验结果中？研究者未对此进行说明。若研究者对空间压缩率全取绝对值，那是否是空间判断准确性的问题，而非空间压缩的问题？

回应:

为了使得空间压缩率为正值以美化图示，我们在参考 Armbrüster et al. (2008) 的研究的基础上，将空间压缩率定义为实际的物我距离减去受试者感知的物我距离，然后除以实际的物我距离。但是，即使是以实际的物我距离减去受试者感知的物我距离为空间压缩的指标，我们的结论也适用。我们在修改稿中增添了这一点。

意见 5:

实验结论的相关问题：（1）实验 1 中，仅“物我距离为 5 米”的视听条件和纯视觉条件中差异显著，如何能得出结论“受试者在视听条件下能比纯视觉条件下做出更准确的距离判断，特别是对于处于较远的视觉刺激（物我距离较大）”？（2）实验 2 中，听觉刺激与视觉刺激在物物距离为 1 米相较于 0 米时，空间压缩率差异并不显著，而要到 1.5 米才统计显著，参考表 3 的“1-0”和“1.5-0”。1 米到 1.5 米之间的差异具体到哪一点才能呈现统计显著的结果，该研究不能得出确切的结论。如何能得出讨论所述的“我们强烈建议在视觉刺激后面至少 1 米处同时呈现听觉刺激以改善虚拟环境中的空间压缩”？

回应:

（1）ANOVA 分析发现了视听条件的主效应是显著的，我们接着进行了事后单侧 t 检验，发现在物我距离为 4 米（差别 = 1.83%， $p = 0.062$ ）和 5 米（差别 = 1.60%， $p = 0.037$ ）时，视听条件的空间压缩率小于纯视觉条件，但物我距离为 3 米时则不然（ $p = 0.307$ ）。因此我们做出了如上的结论。为了使得结论描述更加易懂，我们在修改稿中修改了这句话。

（2）当物物距离的差距为 1 米的时候，我们虽然得到的都是边缘显著的结果，但是我们仍将其认为是可以达到有效改善的。这是因为对于 1 米和 1.5 米之间更为细致的物物距离（1.1 米，1.2 米等），我们并没有进行实际测试。但是根据我们拟合的曲线，即使是提升 0.1 米的物物距离，空间压缩也会得到一定程度的改善，因此我们的建议是从物物距离为 1 米开始，使得 VR 的设计师们有更大的选择。我们在修改稿中增添了相关描述。

.....

审稿人 2 意见:

该论文选题具有较强现实意义与理论价值，研究构思条理清晰，文字表达亦较严谨规范。同时，以下几点还请作者考虑：

意见 1:

论文题目中“改善”应该也是属于“影响”的一种，题目可再斟酌一下

回应:

感谢审稿人的意见，我们已经将标题修改为“听觉刺激对虚拟环境中空间压缩的影响”，使得题目更加凝练。

意见 2:

方法部分，关于实验范式的选取，建议增加相应对比解释说明。

回应:

我们在修改稿中增加个以往研究常用的几种实验范式，并对它们的缺点做出了说明。我们也介绍了本研究所采用实验范式的理由，具体请参考我们对于审稿人 1 的意见 1 的回应。

意见 3:

关于空间压缩率的计算，文中定义为“定义为受试者感知的物我距离减去实际的物我距离，然后除以实际的物我距离。”是不是还取的绝对值？感知的物我距离是不是小于实际物我距离？这样的算出来的就是负值，后面结果中都是正值。

回应:

感谢审稿人指出这个错误，这里是我们的描述错误。为了使得空间压缩率为正值以美化图示，我们在参考 ARMBRÜSTER (2008) 的研究的基础上，将空间压缩率定义为实际的物我距离减去受试者感知的物我距离，然后除以实际的物我距离。但是，即使是以实际的物我距离减去受试者感知的物我距离为空间压缩的指标，我们的结论也适用。我们在修改稿中增添了这一点。

意见 4:

建议在 4.讨论之后增加 5.结论 部分。 5. 文字表述、标点符号、统计符号标注等细节问题部分已在文中标示出，其他还需作者仔细校核修改。

回应:

我们在修改稿中增加了结论部分，作为本研究的最终总结。

我们在修改稿中根据审稿人的意见进行了修改，并且再一次仔细地检查了一遍修改稿，确保没有其他错误。

第二轮

审稿人 1 意见:

作者就审稿意见提出了详细和理据充分的回复，并在稿件的相应部分做出了修改和补充。修改后的稿件克服了原稿件在研究方法和研究结论上不清晰的问题，质量有较大的提升。建议录用发表。

编委意见: 建议录用发表。

主编意见:

请在 2.3 实验设备与刺激材料中，对所谓“听觉刺激是粉红噪声”做个有效的描述或介绍，否则一般读者真不知道你究竟操纵了什么？

回应:

感谢主编老师的宝贵意见，以下是对相关问题的说明和回答。实验中所使用的噪音为粉红噪音(粉红噪音的频率能量分布主要在中低频段，更容易被人耳所接受，因此常用于声学测试)，噪音声源选取了音量大小全程无变化的声音，强度为 60dB，时长为 5 秒。我们将相应的内容增添到最新的修改稿中。