

## 混合搜索的眼球追踪研究 读书报告

尽管视觉搜索的研究都已经对我们如何找到目标有了深刻的理解，但大部分都集中在搜索单一潜在目标的复杂性上，但在现实世界中，我们的搜索是混合搜索，有一个以上的潜在目标，必须同时搜索视觉场景和他对潜在目标的记忆，以确定目标是否存在。因此在本研究中，研究者使用眼动追踪技术来研究混合搜索任务中视觉和记忆搜索之间的交互。

以前的研究结果表明，目标数量增加可能会导致反应减慢，搜索效率降低，错误率升高，并且反应时随着视觉集大小（VSS）的增加而线性增加，而随着记忆集大小（MSS）的对数线性增加。记忆搜索的对数压缩让搜索在几秒钟内就可以完成。

有几种机制可以解释这种对数相关关系。如果在记忆搜索的每一步都能排除一半的记忆集，那么所需的步骤数将是 MSS 的对数。被试可以在视觉显示中选择一个又一个的项目来进行，也可能会以某种方式在整个视觉显示中平行搜索一半的记忆项目，然后搜索记忆集中剩余的一半项目，被试需要通过多次视觉显示以确定可能的目标存在。在另一项研究中表明，RT 的对数增加可能是扩散过程的副产品。当显示中的一个项目与记忆中的内容进行比较时，积累关于当前项目是否与记忆集合中的项目相匹配的信息，如果达到了记忆中特定项目的决策阈值，就被认定为与该项目相匹配。如果该阈值太低，项目可能会被错误识别。随着 MSS 的增加，为了保持错误率不变，决策阈值必须随着 MSS 的增加而增加。较高的决策阈值会产生较长的 RT，这种情况下 RT 随 MSS 的增加变成了对数。研究者通过眼动测量来比对不同模型。

实验中每名被试均测试了 5 个不同 MSS 的 block，对应 1、4、16、32 或 100 个 MSS。每个 block 先开始记忆程序开始，要求被试记住一组目标，接下来记忆测试阶段被试共看到 2 倍 MSS 的物体，如图 1（a）。在混合搜索部分，被试在 8 个或 16 个项目的视觉显示中寻找记忆中的目标，有 50% 的试次中会出现，如果出现则点击目标，未出现则点击不存在，如图 1（b）。每个 block 有 160 个试次。

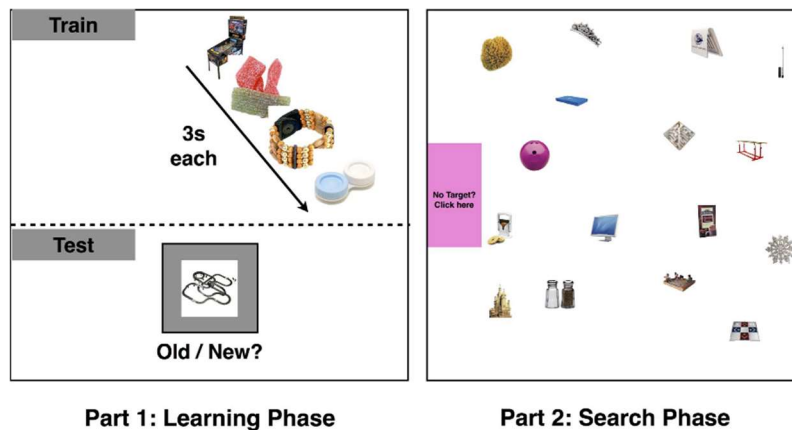


图 1 实验流程图

在实验中只记录单只眼睛的眼动数据，包括固定、重新固定、累积停留时间，以及作为 MSS 函数的物体访问的百分比。

对于 FVF 的测量，研究者使用每个固定点的注视坐标，然后计算在这个点周围的一个可变的圆形窗口中包含的干扰物的百分比。如果在实验过程中搜索是随机的，那么被试在发现目标出现的试验之前，平均需要访问 50% 的项目。因此阈值被设定为项目的一半。按照 Young 和 Hulleman 的方法，使用从现在的试验中产生的 FVF 估计值来估计缺失试次中所访问的项目的比例（即覆盖率）。

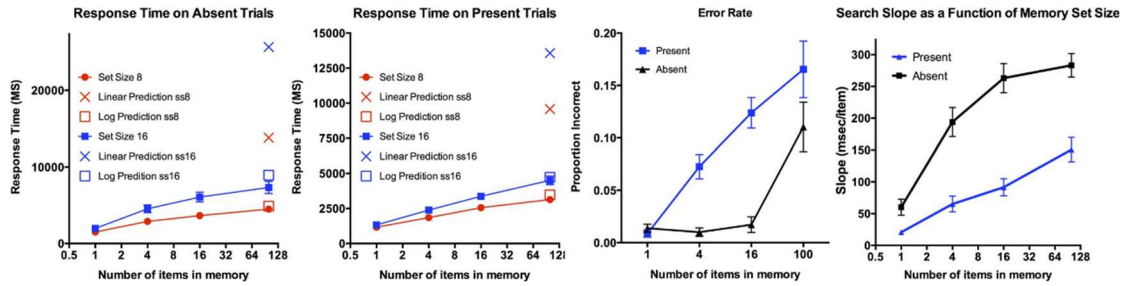


图2 行为结果：行为结果显示，RT、错误率和  $RT \times VSS$  斜率作为 MSS 的函数

行为的结果与 Wolfe 的研究结果是一致的。由图2得知，被试的错误率很低。目标项是否存在和 MSS 是否存在对准确度和正确试次的反应时均有主要影响，且两者交互作用显著。在所有条件下，对数线性模型在预测实际行为方面比线性模型效果更好。目标是否存在和 MSS 对  $RT \times VSS$  函数斜率有显著影响。

MSS 对所有的眼动测量指标均有影响，目标是否存在对除固定干扰物停留时间外的所有指标均有影响，两个因素存在交互作用，目标存在的影响随着 MSS 的增加而增大。当 MSS 较大时，操作系统更有可能重新固定一个 item。

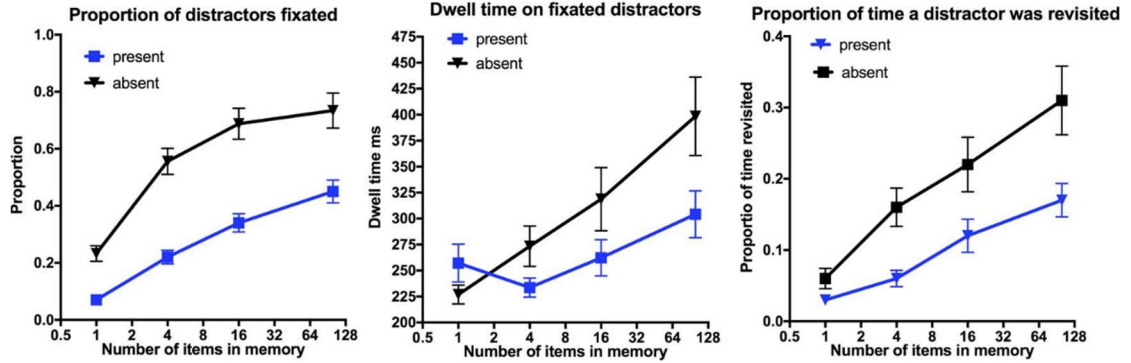


图3 眼球追踪测量作为 MSS 的函数

实验结果并不支持操作系统需要对内存集的每个成员执行一次可视化搜索的假设，没有任何眼动数据表明 MSS 为 100 需要通过视觉显示进行 100 次搜索。如果记忆中每增加一个条目都会导致额外视觉搜索，那么数据显示的 4.8 倍增长远没有达到预期的百倍增长。

较低的回访率也反驳了操作系统执行更小的顺序搜索集合的说法。每次试验消除 50% 潜在目标的模型预测，在 100 个记忆集中，每个干扰物的重复次数超过 5 次。虽然 MSS 从 1 个增加到 100 个项目时，该项目被重新固定的几率有增加，但没有 item 被固定了两次。如果被拒绝的干扰物有完美的记忆，那么一个被固定多次的项目就可以证明搜索策略涉及将一个视觉项目与记忆表示的子集进行比较；如果不完美，那么重访可能是由于重新选择了被遗忘的干扰物。结果有力地证明了混合搜索是通过先寻找一个物体或一组物体，然后再寻找其他物体来完成的观点。

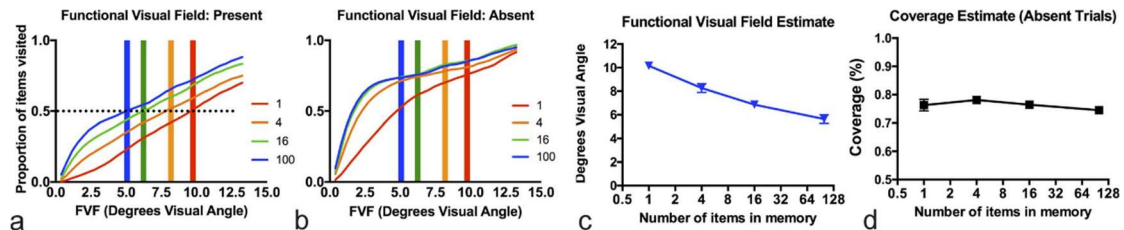


图4 FVF 分析结果

a 图显示了通过测量当 50% 的干扰物被访问时 FVF 的大小来估计 FVF，实条表示每个

MSS 的这个级别, 结果显示 MSS 对 FVF 的估计有强烈影响。按照 Young 和 Hulleman 的做法, 根据对 FVF 的估计, 估计在缺失试验中被访问的干扰者的比例 (即覆盖率), 如图 b 和 d)。结果与假定 FVF 恒定的更传统的覆盖率方法完全不同, 覆盖率并没有随着 MSS 的变化而变化。

眼动的结果显示, 处理每个视觉项目所需的时间随着 MSS 的对数而增加。在 MSS 较小时, 任务难度适度, 被试尽管只固定了部分项目, 但仍可以获得很高的性能, 因此推论 FVF 是相对较大的。在大的 MSS 下, 处理每个项目需要更长的时间, MSS 增加了处理每个被选中的视觉项目所需的时间, 其他变化似乎是由该记忆搜索时间的变化引起的。

该研究同时调查了目标模板在视觉搜索中的作用。目标模板被保存在记忆中, 然后与视觉信息进行比较, 因此与目标更相似的干扰物更有可能被固定下来。并且, 寻找一个以上类别的目标会导致对目标特征的指导效率降低。因此, 增加潜在目标的数量似乎会导致在故意弱化目标模板时观察到的行为和眼球追踪差异的类似变化。

在对 FVF 的估计中, 许多关于视觉注意力的研究必然会对 FVF 的大小做出假设, 导致 MSS1 的覆盖率看起来比 MSS100 低得多。然而, 通过在目标存在的试验中根据功能视野的大小来估计覆盖率, 在目标缺失的试验中, 覆盖率的估计并不随 MSS 而变化。这种基于 FVF 的静态估计的传统方法可能会导致误导性的结果。

综上, 本研究从眼动的角度来看, 增加潜在目标的数量会降低视觉搜索的效率, 在搜索过程中视觉显示中的每个项目都与记忆集中的所有目标进行比较。记忆搜索时间是集合大小的对数函数。随着 MSS 的增加, 干扰物上的停留时间和干扰物被固定的比例均增加, 反映了搜索记忆时间的增加。混合搜索是通过单一的视觉搜索和多个记忆搜索完成的。

本研究首先使用眼动测量来研究机制是如何通过操纵被试的目标集的大小来调节对单一目标的搜索。由于多种假设的行为结果是类似的, 因此使用眼动测量来研究视觉混合搜索的机制是很新颖且有效的。然而, 本实验的方法设计中, 在记忆部分, 研究者设计了多种 MSS 大小, 尽管相比于之前的设计使用的 MSS 更多、范围更广, 但在 MSS 非常大以至于任务难度较高, 尤其是在 MSS 为 100 时, 被试很难记住曾经看过的物体, 搜索任务中会出现凭感觉进行搜索而不是记忆的情况, 还可能收到被试对物体的偏好和熟悉性的影响, 且实验次数过多, 很难不出现疲劳效应。实验讨论部分也应讨论更多的异常情况, 例如在固定干扰物的停留时间分析中, 记忆集为 1 时的停留时间要比记忆集为 4 的要长, 在结果讨论中并没有得到解释。同时, 按照研究者的思路, 总体的错误率应该与 100% 减去覆盖率接近相同, 但结果并不支持此预测, 错误率并不随 MSS 变化, 这可能是用于 FVF 的测量方法仍不失很准确, 可能低估了它的实际规模, 这需要更多的研究来调查这一问题。

## 参考文献

- [1] Drew, T., Boettcher, S., & Wolfe, J. M. (2017). One visual search, many memory searches: An eye-tracking investigation of hybrid search. *Journal of vision*, 17(11), 5.  
<https://doi.org/10.1167/17.11.5>