

## 视觉短时记忆与视知觉的信息整合\*

任衍具<sup>1,2</sup> 禩宇明<sup>1</sup> 傅小兰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101)

(<sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 与知觉整合和跨眼跳的信息整合一样, 视觉短时记忆与视知觉的信息整合也是人们加工并保持整体性场景知觉的重要前提条件。近年来研究者使用空白单元格定位任务进行了一些研究, 试图寻求视觉短时记忆与视知觉信息整合的实验证据并探讨其整合机制。该文对已有的相关实验范式、实验证据和整合机制进行了介绍并加以分析, 并指出未来研究可以在行为数据的基础上结合眼动和脑成像的数据寻求汇聚性证据。

**关键词** 视觉短时记忆, 视知觉, 信息整合, 空白单元格定位。

**分类号** B842

### 1 引言

现实世界包含的信息多于观察者在某一时刻采样并加工的信息, 人们要获得现实世界的信息就必须进行多次采样。驾驶员在驾车行驶的过程中需要经常更新从不同场景中获得的信息, 人们在穿行街道时需要左顾右盼, 即使这些最简单的社会交互也依赖于跨时空的信息整合。尽管视觉采样是离散的, 但我们丝毫没有觉得获得的信息是间断的, 反而可以非常容易地获得场景的整体知觉。这意味着人类视觉似乎具有某种整合的能力, 将多次采样获得的信息整合成一个整体的场景。

因此, 研究者开展了大量有关信息整合的实验室研究。总结以往的研究, 可以区分出 3 种整合:

跨眼跳的信息整合 (information integration across saccadic eye movements), 第一帧刺激的呈现时间为平均眼跳潜伏期, 前后两帧刺激的时间间隔 (interstimulus interval, ISI) 为眼跳的时间, 约为几十毫秒; 知觉整合 (integration of perception), ISI 约为几十毫秒到几百毫秒; 视觉短时记忆与视知觉的信息整合 (information integration between visual short-term memory and visual perception), ISI

从几百毫秒到 1000 毫秒以上, 此时人们需要将当前呈现的信息与保持在视觉短时记忆中的信息 (长时记忆中的信息也需要被激活提取到短时记忆中来) 相整合。

以往的研究主要集中在知觉整合<sup>[1]</sup> (也参见文献[2]) 与跨眼跳的信息整合<sup>[3,4]</sup>。近年来, 认知心理学家开始关注视觉短时记忆与视知觉的信息整合, 主要是寻求视觉短时记忆与视知觉的信息整合的实验证据并探讨其整合机制。

### 2 视觉短时记忆与视知觉的信息整合的实验范式

目前, 研究者仍然沿用以往研究知觉整合的实验范式——时间整合范式来研究视觉短时记忆与视知觉的信息整合, 所使用的实验任务是空白单元格定位任务<sup>[1,2]</sup>。经典的实验流程如图 1 所示: 4×4 网格共有 16 个单元格, 点阵 1 中的圆点占了 7 格, 点阵 2 中圆点占了另外 8 格, 被试的任务是指出网格中余下的空白单元格的位置。由于点阵 1 和点阵 2 先后序列呈现, 因此能否成功完成任务需要整合点阵 1 和点阵 2 的信息; 当 ISI 足够大时, 空白单元格定位任务在一定程度上揭示的正是视觉短时记忆与视知觉的信息整合过程。

在经典实验范式中, 点阵 1 和点阵 2 的位置、大小和方位等空间特性保持不变。研究者对经典的实验范式进行变化, 提出了一些新的变式, 主要有

收稿日期: 2006-04-14

\* 中国科技部 973 项目 (2006CB303101)、国家自然科学基金重点项目 (60433030) 和青年科学基金项目 (30500157)。  
通讯作者: 傅小兰, E-mail: fuxl@psych.ac.cn

平移变式、缩放变式和旋转变式<sup>[5,6]</sup>。

平移变式是在经典实验范式的基础上变化点阵 1 和点阵 2 的相对位置，在二者之间平移一定距离，同时把 ISI 分成 3 个部分，分别为平移前成分、300ms 的空屏和平移后成分<sup>[5]</sup>。其中平移前成分主

要用于视觉图像的编码，平移后成分主要用于晚期的图像形成或空间注意的再分配，300ms 的空屏是用来避免任何潜在的掩蔽效应。平移变式的实验流程如图 2 所示。

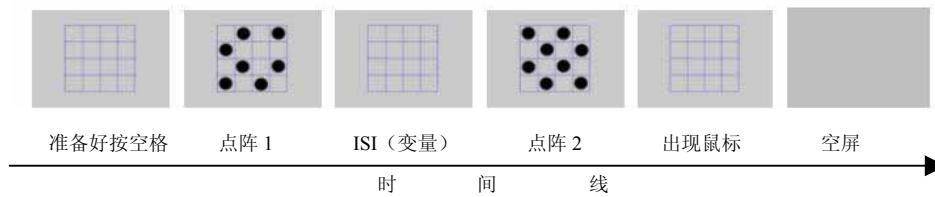


图 1 经典的空白单元格定位任务的实验流程图 (根据文献[2]绘制)

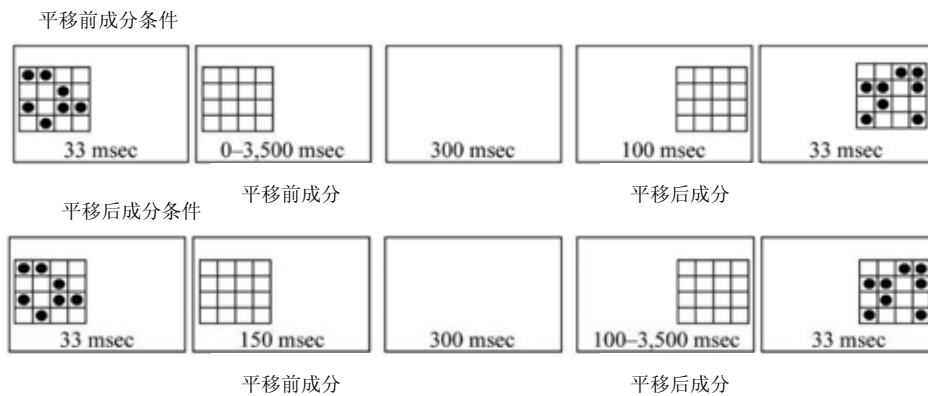


图 2 平移变式下空白单元格定位任务的流程图 (根据文献[5]绘制)

平移变式包括两种实验条件，平移前成分条件和平移后成分条件。在平移前成分条件下，操纵平移前成分的呈现时间从 0~3500ms 变化，而保持平移后成分为 100ms 不变。在平移后成分条件下，根据平移前成分条件的实验结果，将平移前成分的时间设定为被试在平移前成分条件下绩效达到渐近线或最大值时所需要的平移前成分的呈现时间（在 Brockmole 等人的实验中为 150ms），变化平移后成分的呈现时间。所测量的因变量与经典实验范式下的相同，均为被试完成空白单元格定位任务的正确率、错误类型和错误率。实验逻辑是：在平移前成分条件下，将平移后成分的呈现时间限制为 100ms，除非平移后加工需要的时间少于 100ms，否则被试不可能在 100ms 内完成平移后加工，因此，这种条件在很大程度上反映了平移前加工的时程，并能够揭示完成空白单元格定位任务的绩效与平移前成

分的关系；在平移后成分条件下，允许平移前加工达到最优，如果平移前加工没有完成，则会影响整体的绩效，如果平移前加工已经完成，则绩效作为平移后成分呈现时间的函数，在很大程度上反映了平移后加工对整合的贡献。

与平移变式相似，缩放变式和旋转变式是在经典实验范式的基础上变化了点阵 1 和点阵 2 的相对大小与相对方位，缩放变式和旋转变式的实验流程如图 3 和图 4 所示<sup>[6]</sup>。

### 3 视觉短时记忆与视知觉的信息整合的实验证据

以往的研究结果表明，在不同的条件下，被试完成空白单元格定位任务的正确率均高于几率水平，说明被试能够对视觉短时记忆和视知觉的信息进行整合。在这些研究中，研究者们采用经典的实

验范式及其变式操纵两个点阵的 ISI、点阵的位置、点阵的大小、点阵的方位，分别模拟了刺激的时间

间隔、刺激位置变化、观察距离远近、刺激方位变化的情况。

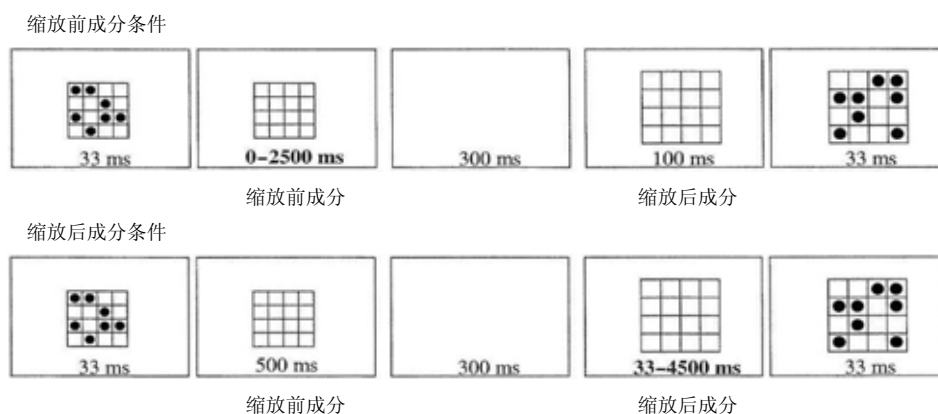


图 3 缩放变式下空白单元格定位任务的实验流程图，根据文献[6]绘制

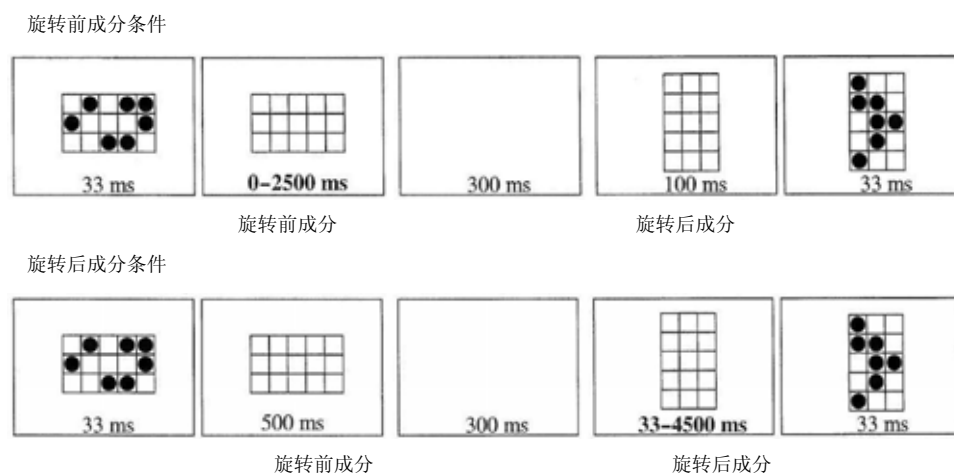


图 4 旋转变式下空白单元格定位任务的实验流程图，根据文献[6]绘制

### 3.1 不同 ISI 条件下的整合

Brockmole 等人采用经典的实验范式操纵两个点阵的 ISI，对视觉短时记忆与视知觉的信息整合进行了研究<sup>[2]</sup>。结果发现（图 5），当 ISI 等于 0ms 时，被试完成实验任务的正确率最好；随着 ISI 的延长，正确率逐渐下降，当 ISI 达到 100ms 时，正确率降至最低；随着 ISI 的进一步延长，正确率逐渐提高，约在 1300ms 时达到渐近线水平；此后，直至 ISI 达到 5000ms，正确率都保持相对稳定的水平。被试完成任务时所犯的错误的两种类型。一种

是点阵 1 错误，即被试指出的空白单元格实际上被点阵 1 中的圆点占据了；另一种是点阵 2 错误，即被试指出的空白单元格实际上被点阵 2 中的圆点占据。对错误类型的分析结果表明，完成任务的正确率与点阵 1 错误的数量有高度负相关，而与点阵 2 错误的数量无关。Brockmole 等人认为，完成空白单元格定位任务的成绩在很大程度上依赖于被试形成和保持点阵 1 表征的质量。

Hollingworth 等人还考察了点阵 1 有 8 个圆点而点阵 2 有 7 个圆点的情况，得到了类似的结果<sup>[7]</sup>。

Brockmole 等人还发现, 5×5 矩阵网格条件下被试的正确率随 ISI 变化的趋势与 4×4 的矩阵网格条件

下的变化趋势类似, 只是在数值上稍低于 4×4 矩阵网格条件下的<sup>[2]</sup>。

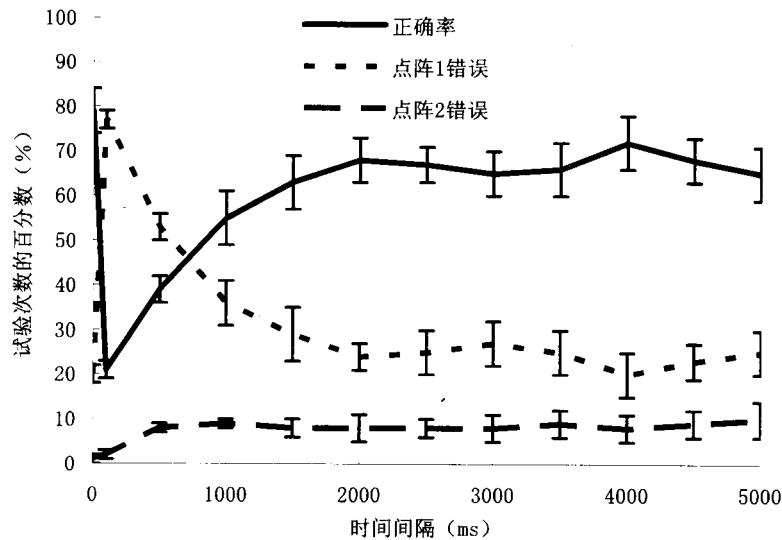


图 5 不同 ISI 条件下的正确率、错误类型及错误数量 (根据文献[2]绘制)

### 3.2 刺激位置变化条件下的整合

Brockmole 等人采用经典实验范式的平移变式 (图 2) 考察了刺激位置变化条件下视觉短时记忆与视知觉的信息整合<sup>[5]</sup>。结果发现, 在平移前成分条件下, 当矩阵网格平移前的时间为 150ms 时, 正确率达到最大值; 在平移后成分条件下, 当矩阵网格平移后的时间为 650ms 时, 正确率达到最大值。此外, 平移后成分条件下正确率的最大值比平移前成分条件下的高, 平移后成分条件下的点阵 1 错误和点阵 2 错误均比平移前成分条件下的低。

### 3.3 观察距离发生变化时的整合

Brockmole 等人采用经典实验范式的缩放变式 (图 3) 考察了观察距离发生变化时视觉短时记忆与视知觉的信息整合<sup>[6]</sup>。实验分为两种条件: 矩阵网格缩放前成分条件和矩阵网格缩放后成分条件。结果发现, 随着矩阵网格缩放前/后成分的延长, 被试的正确率逐渐趋于渐近线水平。比较两种实验条件发现, 矩阵网格缩放后成分条件下被试的渐近线绩效显著高于矩阵网格缩放前成分条件下的。矩阵网格缩放后成分条件下点阵 1 错误显著比矩阵网格缩放前成分条件下的少, 矩阵网格缩放后成分条件

下点阵 2 错误稍比矩阵网格缩放前成分条件下的少。

### 3.4 刺激方位变化条件下的整合

Brockmole 等人还采用经典实验范式的旋转变式 (图 4) 考察了刺激方位变化条件下视觉短时记忆与视知觉的信息整合<sup>[6]</sup>。实验也分为两种条件: 矩阵网格旋转前成分条件和矩阵网格旋转后成分条件。矩阵网格旋转前成分条件的结果表明, 随着矩阵网格旋转前成分的延长, 被试的正确率提高, 延长至 250ms 时正确率趋于渐近线水平。矩阵网格旋转后成分条件的结果发现, 随着矩阵网格旋转后成分的延长, 被试的正确率提高, 延长至 300ms 时正确率趋于渐近线水平。比较两种实验条件发现, 矩阵网格旋转后成分条件下被试的渐近线绩效显著高于矩阵网格旋转前成分条件下的; 矩阵网格旋转后成分条件下的点阵 1 错误和点阵 2 的错误均显著少于矩阵网格旋转前成分条件下的。

### 3.5 小结

综上所述, 已有研究主要发现: (1) 当 ISI 达到一定值时 (如 1300ms), 空白单元格定位的绩效达到渐进性水平。也就是说, 形成点阵 1 的某种记

忆表征似乎需要较长的时间。(2) 矩阵网格平移、缩放和旋转时, 后成分条件下的渐近线绩效(或绩效的最大值)比前成分条件下的高, 后成分条件下的点阵 1 错误也较少; 这似乎表明后成分条件下, 对点阵 1 有更好的记忆表征。

#### 4 视觉短时记忆与视知觉的信息整合机制

那么, 在空白单元格定位任务中, 被试对点阵 1 形成什么样的表征呢? 又是如何整合序列呈现的点阵信息呢? 目前的研究有两种相对立的观点。Brockmole 等人认为, 被试先记住点阵 1 中圆点的位置, 然后和点阵 2 中的圆点位置进行整合, 进而确定空白单元格的位置, 被称为图像-知觉整合假说(image-percept integration hypothesis)<sup>[8]</sup>。而 Jiang 等人认为, 被试先记住点阵 1 中没有被圆点占据的空白网格的位置, 即形成点阵 1 的负图像(negative image), 然后和点阵 2 中的圆点位置进行比较(类似于变化检测任务<sup>[9]</sup>), 进而确定空白单元格的位置, 被称为转换-比较假说(convert-and-compare hypothesis), 也称为有限整合假说(limited-integration hypothesis)<sup>[10]</sup>。

##### 4.1 支持图像-知觉整合假说的实验证据

Brockmole 等人使用探点探测的实验范式, 混合空白单元格定位任务(主任务, 占 66.7%)和探点探测任务(次任务, 占 33.3%)对整合过程中空间选择性注意的位置进行了考察<sup>[8]</sup>。与空白单元格定位任务不同, 探点探测任务是在该出现点阵 2 的时候出现了探针刺激(带缺口的圆环), 要求被试判断缺口的朝向并做出相应的反应。探针刺激可能出现在点阵 1 中圆点的位置, 也可能出现在空白单元格的位置。Awh 等人发现, 在选择性注意的空间范围内呈现的刺激存在着视觉加工的优势<sup>[11]</sup>。如果被试将空间选择性注意集中在点阵 1 中圆点的位置, 那么被试对占据点阵 1 中圆点位置的探针刺激的反应就会比对占据空白单元格位置的探针刺激的反应更快更准确; 反则反之。结果发现, 在正确率达到渐近线的时刻之前, 被试对占据点阵 1 中空白单元格位置的探针刺激的反应更快更准确, 此后被试对占据点阵 1 中圆点位置的探针刺激的反应更快更准确。Brockmole 等人认为, 这是因为在正确率达到了渐近线水平后, 被试对点阵 1 中圆点占据的位置分配了足够的空间注意或形成了较理想的记忆表征。由此 Brockmole 等人认为被试在整合过

程中, 记住的是点阵 1 中被圆点占据的位置, 这支持图像-知觉整合假说。

##### 4.2 支持转换-比较假说的实验证据

Jiang 等人采用了两种任务, 即变化检测任务和空白单元格定位任务。在变化检测任务中, 点阵 1 有 7 个圆点, 点阵 2 有 8 个圆点(在点阵 1 的 7 个圆点上增加 1 个圆点), 被试的任务是找到增加的圆点位置。采用混合区组设计, 不同区组内两种任务的混合比例是变化的, 事先告诉被试哪一个任务是主任务, 要求被试尽量准确地完成主任务。如果图像-知觉整合假说是正确的, 那么记住点阵 1 中圆点位置有利于两种任务的完成; 如果转换-比较假说是正确的, 那么记住点阵 1 中圆点位置仅有利于变化检测任务而不利于空白单元格定位任务。结果发现, 当空白单元格定位任务为主任务时, 空白单元格定位的正确率随 ISI 增加而增加; 但是, 当变化检测任务为主任务时, 空白单元格定位的正确率并不随 ISI 而变化。因此, 实验结果表明用于变化检测任务的最好策略对空白单元格定位是有害的, 用于空白单元格定位任务的最好策略对于变化检测任务的绩效也是有害的, 这一模式支持转换-比较假说<sup>[10]</sup>。

Hollingworth 等人设计了模式复杂性不对称的点阵刺激, 一种类型的刺激是点阵 1 中圆点模式比空白网格模式复杂, 而另一种类型的刺激与之是互补的, 点阵 1 中空白网格模式比圆点模式复杂。他们在前人研究成果<sup>[12]</sup>的基础上, 发现了整合绩效的模式复杂性效应, 即当 ISI 较长时, 被试对简单模式的信息整合绩效高于对复杂模式的信息整合绩效<sup>[7]</sup>。如果被试记住了点阵 1 中圆点的位置, 那么对点阵 1 中圆点模式简单的整合绩效高于对点阵 1 中空白网格模式简单的整合绩效; 反则反之。实验结果发现被试对点阵 1 中空白网格模式简单的整合绩效比对点阵 1 中圆点模式简单的整合绩效高, 这一结果支持 Jiang 等人<sup>[10]</sup>的观点。

##### 4.3 哪种假说更有说服力?

Jiang 等人认为她(他)们提出的转换-比较假说比图像-知觉整合假说更具有说服力<sup>[10]</sup>。首先, 如果转换-比较假说是正确的话, 被试只需要记住 4 个空间位置就能达到 50% 的正确率, 这与视觉短时记忆的容量为 3~5 个项目的研究结果相符<sup>[13-17]</sup>。而如果图像-知觉整合假说是正确的话, 被试至少需要在视觉短时记忆中保持 14 个空间位置才能达

到 50%甚至更高的正确率。其次, 图像-知觉整合假设不能解释为什么被试需要大约 1300ms 那么长的时间来形成点阵 1 中圆点的图像, 因为以往的研究发现视觉加工花费的时间要短得多<sup>[18, 19]</sup>。转换-比较假说认为 1300ms 是用来生成点阵 1 的负图像。第三, 在 Brockmole 等人的研究中, 在点阵 1 中呈现有 5 个圆点 11 个空格, 这使得被试更倾向于记住圆点的位置<sup>[8]</sup>。

我们认为, Brockmole 等人和 Jiang 等人的研究都混合两种实验任务, 其结论难以反映被试单纯完成空白单元格定位任务的加工机制。但是 Hollingworth 等人仅使用空白单元格定位任务, 利用圆点和空格复杂程度的不对称性巧妙地设计实验, 其实验结果支持转换-比较假说<sup>[7]</sup>。此外, Jiang 等人的研究表明: ISI 小于 500ms 时, 对两个矩阵网格的表征是整合的; 当 ISI 大于 500ms 时, 对两个矩阵网格的表征是分离的<sup>[20]</sup>。这一结果从侧面支持了转换-比较假说。

因此, 目前的研究结果似乎更支持转换-比较假说。但是也不能排除双重表征的可能性, 即被试在完成空白单元格定位任务的过程中, 既记住了点阵 1 中圆点的位置, 也记住了空格的位置。这种可能性需要进一步的实验验证。

## 5 总结与讨论

### 5.1 已有研究的缺陷

综上所述, 有关视觉短时记忆与视知觉的信息整合的研究还处于起步阶段, 有些研究结果还没有达成共识。我们认为, 已有研究还存在一些问题。首先, 空白单元格定位任务的生态效度比较差。现实生活中人们更多的是依赖时空连续性来表征事件, 而很少整合截然不同的两个场景的信息(空白单元格定位任务中使用的两个点阵), 因为截然不同的两个场景可能是不同事件的信息。

其次, 以往的研究在实验设计方面还存在一些不足之处。在考察矩阵网格的数量(4×4 和 5×5 的矩阵网格)对整合绩效的影响时, 研究者没有对这两种条件下单个单元格和圆点的大小进行严格的控制, 那么这两种条件下的绩效差异可能是被编码圆点的绝对数量造成的, 也可能是空间分辨率的不同所导致的。在考察刺激的方位变化对整合绩效的影响时, 仅考察了矩阵网格旋转 90°的情况。而实验结果表明点阵 1 中的信息在旋转 90°的情况下

很难保持, 特别是在网格旋转前成分条件下, 被试完成空白单元格定位任务的正确率普遍较低, 似乎出现了低限效应。

### 5.2 未来研究的方向

我们认为, 未来的研究可以从研究内容和研究方法两方面加以改进。

在研究内容方面, 就视觉短时记忆与视知觉的信息整合过程中的表征特性这一问题, Hollingworth 等人并没有回答被试在整合过程中的表征是客体信息(单个的圆点)还是模式信息, 而对这一问题的回答可以加深我们对整合机制的理解<sup>[7]</sup>。此外, 未来的研究应尽量完善以往研究的不足之处。例如, 在考察矩阵网格数量对整合绩效的影响时, 应该控制单个单元格和圆点的大小, 同时网格数量至少要有 3 个水平, 以便发现整合绩效随网格数量变化的趋势。在考察刺激方位变化对整合绩效的影响时, 应该考察不同的旋转角度(应小于 90°)对整合绩效的影响, 以便发现整合绩效随旋转角度变化的趋势。

在研究方法方面, 由于目前使用的实验任务生态效度比较差, 未来的研究应寻求更恰当的实验范式和实验任务去考察视觉短时记忆与视知觉的整合。同时, 以往的研究主要是在行为水平上展开的, 而未来的研究可以在行为数据基础上结合眼动、脑成像数据以寻求汇聚性的证据, 从心理和生理的不同角度更深入地理解视觉短时记忆与视知觉的信息整合机制。

### 参考文献

- [1] Loftus G R, Irwin D E. On the relations among different measures of visible and informational persistence. *Cognitive Psychology*, 1998, 35: 135~199
- [2] Brockmole J R, Wang R F, Irwin D E. Temporal integration of visual images and visual percepts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2002, 28: 315~334
- [3] Irwin D E. information integration across saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, 1991, 23: 420~456
- [4] Melcher D, Morrone M C. Spatiotopic temporal integration of visual motion across saccadic eye movements. *Nature Neuroscience*, 2003, 6: 877~881
- [5] Brockmole J R, Irwin D E. Eye movements and the integration of visual memory and visual perception. *Perception & Psychophysics*, 2005, 67: 495~512
- [6] Brockmole J R, Wang R F. Integrating visual images and visual percepts across time and space. *Visual Cognition*, 2003,

- 10: 853 ~ 873
- [7] Hollingworth A, Hyun J, Zhang W. The role of visual short-term memory in empty cell localization. *Perception & Psychophysics*, 2005, 67: 1332~1344
- [8] Brockmole J R, Irwin D E, Wang R F. The locus of spatial attention during the temporal integration of visual memories and visual percepts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2003, 10: 510~515
- [9] Rensink R A. Change detection. *Annual Review of Psychology*, 2002, 53: 245~277
- [10] Jiang Y, Kumar A, Vickery T J. Integrating sequential arrays in visual-short term memory. *Experimental Psychology*, 2005, 52: 39~46
- [11] Awh E, Jonides J, Reuter-Lorenz P A. Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 1998, 24: 780 ~ 790
- [12] Ichikawa S. Quantitative and structural factors in the judgment of pattern complexity. *Perception & Psychophysics*, 1985, 38: 101~109
- [13] Jiang Y, Olson I R, Chun M M. Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 2000, 26: 683~702
- [14] Luck S J, Vogel E. The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 1997, 390: 279~281
- [15] Wheeler M, Treisman A M. Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2002, 131: 48~64
- [16] Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral & Brain Science*, 2001, 24: 87~134
- [17] Kumar A, Jiang Y. Visual short-term memory for sequential arrays. *Memory & Cognition*, 2005, 33: 488~498
- [18] Thorpe S, Fize D, Marlot C. Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 1996, 381: 520~522.
- [19] Liu J, Harris A, Kanwisher N. Stages of processing in face perception: An MEG study. *Nature Neuroscience*, 2002, 5: 910~916
- [20] Jiang Y, Kumar A. Visual short-term memory for two sequential arrays: One integrated representation or two separate representations? *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, 13: 495~500

## Information Integration between Visual Short-Term Memory and Visual Perception

Ren Yanju<sup>1,2</sup> Xuan Yuming<sup>1</sup> Fu Xiaolan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

<sup>2</sup>Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Like perceptual integration and transsaccadic integration, Information integration between visual short-term memory and visual perception is also important to process and maintain a coherent perception of the scene. Using the empty cell localization task, many studies had been carried out to attempt to find out the experimental evidences for information integration between visual short-term memory and visual perception and to explore its mechanism. The present paper reviewed and analyzed these related experimental paradigms, experimental evidences and integration mechanism between visual short-term memory and visual perception, and pointed out that, based on behavioral data; the convergent evidences from eye movement and brain mapping data were required.

**Key words:** visual short-term memory, visual perception, information integration, empty cell localization.