

· 基础、实验与工效 ·

视觉信息分布调节信息整合策略:来自眼动的证据*

任衍具¹ 禰宇明² 傅小兰^{**2}

(¹山东师范大学心理学院,济南,250014)(²中国科学院心理研究所,北京,100101)

摘要 以空白单元格定位为实验任务,操纵序列点阵的分布,考察视觉短时记忆与视知觉的信息整合机制。实验一发现任务正确率与点阵1的圆点数呈近似U形关系。实验二发现在拐点前后被试的眼动模式从偏向于注视圆点位置转为偏向于注视空格位置。因此,视觉信息的分布模式调节整合策略,当处于视觉短时记忆中的圆点数在其容量之内时,采用图像—知觉整合策略,反之,则采用转换—比较策略。

关键词 序列点阵 空白单元格定位 图像—知觉整合假说 转换—比较假说 眼动

1 前言

视觉的生理和认知特性决定观察者在单次注视中取样并加工的信息量远小于现实世界的信息量(Matsukura & Hollingworth, 2011)。那么,如何整合从序列注视点获得的信息形成整体性的场景表征就成为视知觉领域的经典问题(Brockmole, Wang, & Irwin, 2002; Castelano, Pollatsek, & Rayner, 2009; Melcher, 2007; Ren, Xuan, & Fu, 2007, 2009)。

视觉短时记忆与视知觉的信息整合是人们形成整体性场景表征的重要方式(任衍具, 禰宇明, 傅小兰, 2007a)。Brockmole等人(2002)采用空白单元格定位任务对其进行研究,结果发现,当时间间隔(interstimulus interval, ISI)超过100 ms后,整合绩效随ISI的延长而逐渐提高,且在ISI为1300 ms时达到渐近线水平。近年来研究者进行了大量的相关研究(Brockmole et al., 2002; Brockmole, Irwin, & Wang, 2003; Hollingworth, Hyun, & Zhang, 2005; Jiang & Kumar, 2004; Jiang, Kumar, & Vickery, 2005; Ren, Xuan, & Fu, 2007, 2009; 任衍具, 禰宇明, 傅小兰, 2007b, 2007c)。就序列点阵整合的机理,存在两种对立的假说:图像—知觉整合假说和转换—比较假说。

图像—知觉整合假说认为,人们先形成点阵1中圆点的图像,然后与点阵2进行整合,进而确定空格的位置。该假说表明人们能够整合序列点阵并形成复合表征。研究发现整合绩效主要依赖于点

阵1表征的质量(Brockmole et al., 2002)。Brockmole等人(2003)使用5—10分布(点阵1有5个点,点阵2有10个点)的点阵考察整合过程中的注意分配,结果支持该假说。

转换—比较假说认为,人们先记住点阵1中的空格位置,即形成点阵1的负图像,然后与点阵2比较,进而确定空格的位置。该假说表明人们对序列点阵的表征是分离的。该假说与视觉标记理论(Watson & Humphreys, 1997)关系密切。Jiang等人(2005)采用7—8分布和Hollingworth等人(2005)采用8—7分布的点阵的研究结果都支持该假说。

由此可见,序列点阵分布的差异可能导致上述结果的不同。当点阵1中的圆点数较少时被试倾向采用记点策略,符合图像—知觉整合假说,而当点阵1中的圆点数较多时被试倾向采用记空策略,符合转换—比较假说。任衍具等(2007b)的研究支持这一猜测。

Hollingworth等人(2005)发现了整合的模式复杂性效应。而点阵分布的变化会影响点阵模式的复杂性,点阵1中的圆点(或空格)数较少或较多时构成的模式比中等数目构成的模式简单。那么,不管被试采用记点还是记空策略,都会出现正确率与点阵1中的圆点(或空格)数呈U型关系的结果。因此,任衍具等(2007b)的结果还可能是由于模式复杂性的不同所致,本研究试图通过眼动实验来验证被试在整合过程中确实发生了策略的转换。已有研究表明,观察者在视觉记忆的保持和回忆阶段与知

* 本研究得到国家重点基础研究发展计划(2011CB302201)、山东省“十二五”发展与教育心理学强化重点学科建设项目和山东师范大学博士科研启动基金项目的资助。

** 通讯作者:傅小兰。E-mail: fuxl@psych.ac.cn

觉阶段有着相似的眼动模式(张霞,刘鸣,2009; Brockmole & Irwin, 2005; Laeng & Teodorescu, 2002)。

本研究有两个实验:实验一改进任衍具等(2007b)的研究;实验二在此基础上记录被试的眼动行为。若结果支持图像—知觉整合假说,那么被试将更可能注视点阵1中圆点的位置;若支持转换—比较假说,那么被试将更可能注视点阵1中空格的位置。若结果是由模式复杂性的不同所致,那么被试对圆点位置和对空格位置的注视应处于随机水平。

2 实验一

2.1 方法

2.1.1 被试 12名本科生(4男,8女,平均年龄为19.17周岁)作为有偿被试参加实验,所有被试的视力(或矫正视力)和色觉均正常,且不了解实验目的。

2.1.2 实验材料与装置 实验材料为 4×4 的矩阵网格(14°)和圆点(2.8°)。网格线为亮蓝色(RGB: 0, 0, 255),背景为亮灰色(RGB: 192, 192, 192),圆点为黑色(RGB: 0, 0, 0)。采用E-Prime 1.1编程,屏幕分辨率为 800×600 ,刷新频率为75 Hz,视距为65 cm。

2.1.3 实验设计与程序 采用5(点阵分布:4—11、5—10、6—9、7—8和8—7) \times 3(ISI: 500、1500和2500 ms)的被试内设计。

单次试验的流程如图1所示,首先在屏幕中央呈现网格,按键后呈现点阵1和2,间隔为ISI;要求被试点击空格位置,之后网格消失,呈现反馈信息(练习)或空屏(正式实验)。

被试先进行15次练习,然后进行正式实验。正式实验分为5个区组,顺序随机。同一区组内包含3个水平的ISI,每个水平包含32次,共96次,顺序随机;正式实验共480次。实验持续约1小时。

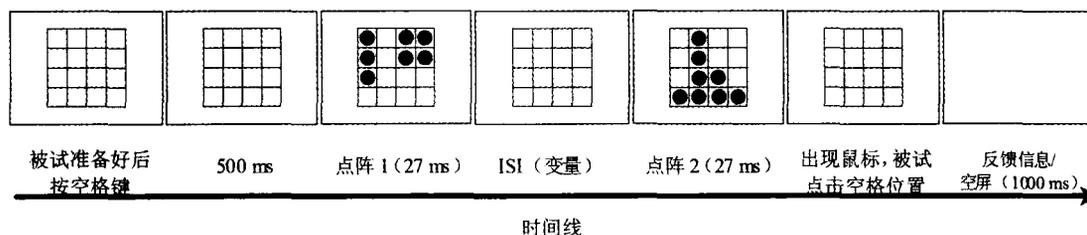


图1 单次实验流程图(以7-8的分布为例)

2.2 结果与分析

2.2.1 正确率 正确率反映整合信息的程度(图2)。结果发现,分布主效应显著, $F(4, 44) = 3.34, p < .05$; ISI主效应显著, $F(2, 22) = 23.58, p < .01$;交互作用不显著。平均正确率与点阵1的圆点数量呈U形关系,拟合方程为 $\hat{Y} = -0.23X^3 + 5.98X^2 - 46.61X + 155.38 (R^2 = .99)$,当 $X = 6.16 \approx 6 (X \in [4, 8])$ 时, \hat{Y}_{min} 为41.19。

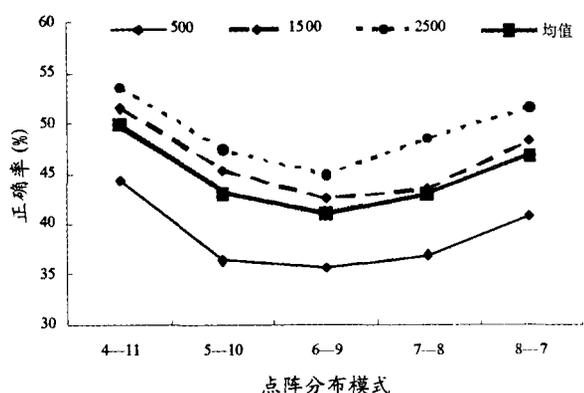


图2 被试完成实验任务的正确率

2.2.2 点阵1错误和点阵2错误 该错误是指将点阵1或点阵2中的圆点位置误认为是空格位置。结果发现,分布主效应显著, $F_1(4, 44) = 11.39, p < .01, F_2(4, 44) = 10.22, p < .01$; ISI主效应显著, $F_1(2, 22) = 18.33, p < .01, F_2(2, 22) = 5.60, p < .05$;交互作用不显著。

3 实验二

实验一的结果与任衍具等(2007b)的结果一致,被试的正确率与点阵1中的圆点数量呈U形的关系,拐点出现在点阵1中的圆点数为6个时。实验二考察在拐点前后,不同点阵分布条件下被试的眼动模式是否发生变化,进而推测整合策略的变化。

3.1 方法

3.1.1 被试 另外12名本科生(男女各半,平均年龄为19.58周岁)作为有偿被试参加实验,其视力(或矫正视力)和色觉均正常,且不了解实验的目的。

3.1.2 实验材料与装置 材料同实验一。眼动仪为

Eyelink 1000, 采用 Experiment Builder 编制实验程序。被试机分辨率为 1024×768 , 刷新频率为 100 Hz, 视距为 85 cm。

3.1.3 实验设计与程序 采用 3(点阵分布: 5—10, 6—9 和 7—8) \times 2 (ISI: 500 和 1500 ms) 的被试内设计。

首先连接眼动仪并进行校准, 然后开始实验, 单次试验流程(图 3)类似实验 1, 点阵 2 过后出现带数

字的网格, 要求被试报告空格中的数字, 之后呈现反馈信息或空屏。记录眼动的时间窗为图中虚框部分。

被试先进行 12 次练习, 稍后进行正式实验。正式实验分为 3 个区组, 顺序采用被试间完全平衡。正式实验采用 ISI 的区组内设计, 同一个区组内包含 2 个水平的 ISI, 每个水平包含 32 次, 共 64 次, 顺序随机; 正式实验共有 192 次。实验持续大约 1 小时。



图 3 单次眼动实验流程图(以 7—8 的分布为例)

3.2 结果与分析

3.2.1 正确率 结果(图 4)表明, 分布主效应接近显著, $F(2, 22) = 2.67, p = .09$; ISI 主效应显著, $F(1, 11) = 39.06, p < .01$; 交互作用不显著。以点阵 1 中的圆点数为自变量, 以平均正确率为因变量的拟合方程为 $\hat{Y} = 6.97X^2 - 83.79X + 282.55$ ($R^2 = 1$), 当 $X = 6.01 \approx 6$ ($X \in [5, 7]$) 时, \hat{Y}_{\min} 为 30.60。

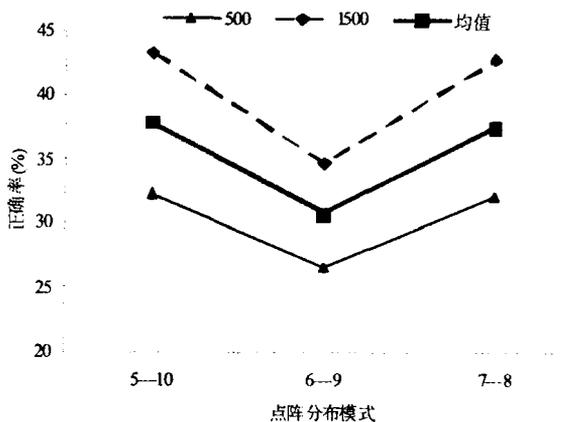


图 4 被试完成实验任务的正确率

3.2.2 点阵 1 错误和点阵 2 错误 结果表明, 分布主效应显著, $F_1(2, 22) = 4.06, p < .05, F_2(2, 22) = 7.89, p < .01$; ISI 主效应显著/边缘显著, $F_1(1, 11) = 21.64, p < .01, F_2(1, 11) = 4.23, p = .06$; 交互作用不显著。

3.2.3 注视次数 结果表明, 分布主效应显著, $F(2, 22) = 3.76, p < .05$; ISI 主效应显著, $F(1, 11) = 28.64, p < .01$; 交互作用显著, $F(2, 22) = 3.95, p < .05$ 。进一步分析表明, ISI 为 1500ms 时,

6—9 分布的注视点数显著多于 5—10 和 7—8 分布 ($p < .05$)。

3.2.4 平均注视时间 结果表明, 分布主效应显著, $F(2, 22) = 4.22, p < .05$; ISI 主效应显著, $F(1, 11) = 23.68, p < .01$; 交互作用显著, $F(2, 22) = 4.38, p < .05$ 。进一步分析表明, ISI 为 1500ms 时, 6—9 分布的注视时间边缘显著短于 5—10 分布的 ($p = .051$), 且显著短于 7—8 分布的 ($p < .05$)。

3.2.5 注视位置 将被试注视空格位置的比率与相应的空格所占比率(图中虚线)进行比较, 结果(图 5)表明, ISI 为 500 ms 时, 被试注视空格的比率处于随机水平 ($p > .05$); ISI 为 1500ms 时, 被试在 5—10 分布时, 注视空格的比率显著低于随机水平 ($p < .01$), 在 7—8 分布时, 注视空格的比率显著高于随机水平 ($p < .01$), 在 6—9 分布时, 注视空格的比率处于随机水平 ($p > .05$)。

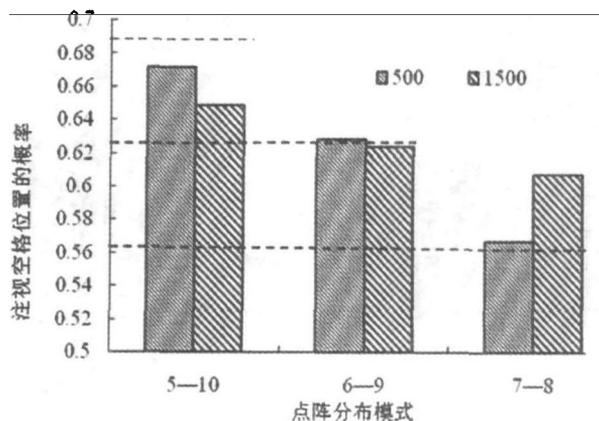


图 5 被试注视空格位置的比率与空格所占比率的比较

3.2.6 注视位置的动态变化 对前三个注视点注视

位置的分析,结果发现,首视点结果与注视位置结果的模式一致。由于 ISI 为 500 ms 时的注视点数目有限,所以,对于第二个和第三个注视点的注视位置,我们仅分析 ISI 为 1500ms 的情况,也发现与注视位置结果的模式一致。

4 讨论

错误率和 ISI 的结果模式也与前人的结果一致 (Brockmole et al., 2002),这不是本文讨论的重点。正确率结果发现,正确率与点阵 1 的圆点数呈近似 U 形的关系,拐点在点阵 1 的圆点数为 6 时,与以前的结果一致(任衍具等, 2007b),眼动结果发现,ISI 为 1500ms 时,对 5—10 分布的点阵,被试更多地注视点阵 1 中圆点的位置,意味着被试采用记点策略,符合图像—知觉整合假说;当点阵分布模式为 7—8 时,注视模式相反,意味着被试采用记空的策略,符合转换—比较假说;当点阵分布模式为 6—9 时,被试注视空格的比率处于随机水平。上述结果表明,拐点前后的眼动模式在长 ISI 条件下有显著差异,被试的整合策略会随着序列点阵分布的变化而变化。本研究提供了被试完成空白单元格定位任务时整合策略发生变化的眼动证据。

如果被试仅仅是在记忆圆点位置和记忆空格位置之间做出权衡的话,那么策略的转换应该发生在点阵 1 中圆点数为 8 个时。但本研究发现策略发生转变的临界值是 6,其原因可能有:(1)从认知加工的步骤来看,记点策略需要三步,记空策略仅需两步,似乎记空策略比记点策略更容易(任衍具等, 2007b)。(2)形成点阵 1 的负图像比形成点阵 1 的图像要难(Jiang et al., 2005)。(3)点阵 1 中 6 个圆点位置很可能超出了短时记忆容量的上限。当圆点数少于 6 时,被试能够保持这些位置信息,可能采用记点策略,而当点阵 1 中的圆点数超过 6 时,被试无法保持所有的位置信息,虽然此时保持所有空格的位置信息也超出了视觉短时记忆的容量,但被试可能会转向记空策略,因为该策略仅需两步操作。因此,该临界值可能是被试权衡认知加工的步骤数目、形成图像的难易程度以及视觉短时记忆容量等诸多因素的结果(Matsukura & Hollingworth, 2011; Richard, Luck, & Hollingworth, 2008)。

已有研究表明,人们对序列事件(面孔或点阵)的表征会受到时间间隔的调节(Anaki, Boyd, & Moscovitch, 2007; Jiang & Kumar, 2004)。本研究表明序列点阵的分布也会调节整合的策略和信息表

征方式。当处于视觉短时记忆中的圆点数在其容量之内时,采用图像—知觉整合策略,此时人们对两个点阵的表征是整合的;否则采用转换—比较策略,此时人们对这两个点阵的表征是分离的。

参考文献

- 任衍具, 裯宇明, 傅小兰. (2007a). 视觉短时记忆与视知觉的信息整合. *心理科学进展*, 15 (2), 301 - 307.
- 任衍具, 裯宇明, 傅小兰. (2007b). 序列刺激分布对信息整合策略的影响. *人类工效学*, 13 (4), 1 - 3, 11.
- 任衍具, 裯宇明, 傅小兰. (2007c). 编码时间对序列视觉信息整合的影响. *心理科学*, 30 (5), 1077 - 1080.
- 张霞, 刘鸣. (2009). 视觉表象操作加工的眼动实验研究. *心理学报*, 41 (4), 305 - 315
- Anaki, D., Boyd, J., & Moscovitch, M. (2007). Temporal Integration in Face Perception: Evidence of Configural Processing of Temporally Separated Face Parts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1 - 19.
- Brockmole, J. R., & Irwin, D. E. (2005). Eye movements and the integration of visual memory and visual perception. *Perception & Psychophysics*, 67, 495 - 512.
- Brockmole, J. R., Irwin, D. E., & Wang, R. F. (2003). The locus of spatial attention during the temporal integration of visual memories and visual percepts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 510 - 515.
- Brockmole, J. R., Wang, R. F., & Irwin, D. E. (2002). Temporal integration of visual images and visual percepts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 315 - 334.
- Castelhano, M. S., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2009). Integration of multiple views of scenes. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71, 490 - 502.
- Hollingworth, A., Hyun, J., & Zhang, W. (2005). The role of visual short-term memory in empty cell localization. *Perception & Psychophysics*, 67, 1332 - 1344.
- Jiang, Y., & Kumar, A. (2004). Visual short-term memory for two sequential arrays: One integrated representation or two separate representations? *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 495 - 500.
- Jiang, Y., Kumar, A., & Vickery, T. J. (2005). Integrating visual arrays in visual-short term memory. *Experimental Psychology*, 52, 39 - 46.
- Laeng, B., & Teodorescu, D. (2002). Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science*, 26, 207 - 231.
- Matsukura, M., & Hollingworth, A. (2011). Does visual short-term memory have a high-capacity stage? *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 1098 - 1104.
- Melcher, D. (2007). Predictive remapping of visual features precedes saccadic eye movements. *Nature Neuroscience*, 10, 903 - 907.
- Ren, Y., Xuan, Y., & Fu, X. (2007). Effects of pattern complexity on information integration: evidence from eye movements. In: D.

- Harris (Ed.), *Lecture notes in artificial intelligence: Vol. 4562: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 582 - 590). Berlin, Germany: Springer - Verlag.
- Ren, Y., Xuan, Y., & Fu, X. (2009). *Information Representation and Mechanism in the Integration of Sequential Arrays: Evidences from eye movements*. Paper presented at the 17th Congress of the International Ergonomics Association, Beijing, China, August, 9 - 14.
- Richard, A. M., Luck, S. J., & Hollingworth, A. (2008). Establishing object correspondence across eye movements: Flexible use of spatiotemporal and surface feature information. *Cognition*, 109, 66 - 88.
- Sanocki, T., Sellers, E., Mittelstadt, J., & Sulman, N. (2010). How high is visual short-term memory capacity for object layout? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 1097 - 1109.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, 104, 90 - 122.

Information Distribution Modulates Integration Strategies: Evidence from Eye Movements

Ren Yanju¹, Xuan Yuming², Fu Xiaolan²

(¹ School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan, 250014)(² Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

Abstract In the present study, empty cell localization task was used to explore how information was integrated between visual short-term memory (VSTM) and visual perception. To explain the participants' performance of the task, two hypotheses were proposed: image-percept hypothesis and convert-and-compare hypothesis. The image-percept hypothesis suggests that participants first encode the locations of dots in array 1 and its mental image is formed to integrate with array 2. On the contrary, the convert-and-compare hypothesis asserts that participants first encode the location of empty cells in array 1 and its negative image is formed to compare with array 2.

Analyzing the existing evidence for or against the two hypotheses, we found that the difference in dot distribution might contribute to different integrating strategies. To test this hypothesis, two experiments were conducted.

In Experiment 1, the dot distribution of sequential arrays (4-11, 5-10, 6-9, 7-8 and 8-7) and interstimulus interval (ISI, 500 ms, 1500ms and 2500 ms) were manipulated. The results showed that the accuracy was a U-shaped function of array 1 dot number and at the condition of 6-9 distribution the accuracy reached a lowest value. These findings suggested that integration strategies might change from "memorizing dots" to "memorizing empty cells" of array 1.

In Experiment 2, participants' eye movements were monitored when performing empty cell localization task. Dot distribution varied in 3 levels (5-10, 6-9, 7-8) and ISI varied in 2 levels (500ms and 1500ms). The accuracy again showed a U-shaped function of array 1 dot number. In 1500ms ISI condition, there were significant differences in terms of eye movement patterns between the 3 levels of dot distribution. Specifically, in 5-10 condition, participants showed a bias to look at dot locations during ISI period; in 6-9 condition, participants looked at locations of dots or empty cells by chance; while in 7-8 condition, a bias to look at empty cell location was showed. Thus, we found clear eye-movement evidence indicating a change of integration strategy from "memorizing dots" to "memorizing empty cells" in Experiment 2.

In sum, the present study suggests that human participants are flexible in integrating sequentially presented information because a change of integration strategy is revealed by our data. We argue that the limit of VSTM capacity plays an important role in this adaptive characteristic. It seems that the "memorizing dots" strategy is adopted when dot numbers are within the capacity of VSTM while the "memorizing empty cells" strategy is adopted when dot numbers is out of VSTM capacity.

Key words sequential arrays, empty cell localization, image-percept integration hypothesis, convert-and-compare hypothesis, eye movements