

短时系列记忆实验的新的定量分析方法^{*}

唐孝威^{①②} 陈湘川^{②③} 张达人^{②③}

(①中国科学院高能物理研究所, 北京 100039; ②中国科学技术大学脑科学研究中心, 合肥 230026;

③中国科学技术大学生物系, 合肥 230026)

摘要 提出了一种短时系列记忆实验的新的定量分析方法, 定义了离散度、无序度和相似度等参数来定量表征项目记忆和时序记忆的成绩. 用新的定量分析方法对视空间短时系列记忆实验的数据进行分析, 结果表明, 可以定量地反映项目记忆和时序记忆的一些特性.

关键词 短时系列记忆 项目信息和时序信息 定量分析方法

在短时系列记忆(short term serial memory)的认知心理学研究中, 对记忆成绩的评定常用的是记忆广度(memory span)、保存分数(saving score, 用项目数或百分比表示)或正确率(回忆率, recall probability)^[1]. 我们知道, 短时系列记忆信息包括两个方面, 一是项目(item)信息, 二是时序(时间顺序, time order)信息^[2]. 运用上述方法可以很好地分析项目信息记忆(项目记忆)的成绩, 但对时序信息记忆(时序记忆)的分析, 则是通过项目记忆成绩间接进行的. 在以往的研究中, 所采用的即是作系列位置曲线(包括报告分布、回忆率、移位百分率等), 或进行模型拟合来分析时序记忆^[2,3]. 本文提出一种短时系列记忆实验的新的定量分析方法, 其中包含对项目记忆和时序记忆成绩的评定, 并且用这种方法对我们的视空间短时记忆实验数据进行定量的分析.

1 新的定量分析方法

在短时系列记忆实验的一次测验(trial)中, 给被试依次呈现一系列的刺激, 称为呈现序列. 每次呈现一个项目, 间隔一定时间后再呈现下一个项目, 用 n 表示这一系列项目的总数. 当刺激呈现完毕, 即 n 个项目全部呈现后, 立即要求被试作系列回忆(serial recall)报告. 在这样的实验条件下, 被试需要记忆的是呈现序列的项目信息及其呈现的时序信息. 实验中被试的报告可以有以下几种情况:

(1) 报告序列不但在项目上与呈现序列完全相同, 而且在时序上也与呈现序列完全相同. 如: 呈现序列为 2, 6, 8, 5, 1, 7, 3; 报告序列为 2, 6, 8, 5, 1, 7, 3;

(2) 报告序列在项目上和呈现序列完全相同, 但时序有一部分错误, 即报告顺序有移位. 如: 呈现序列为 6, 4, 9, 2, 5, 7, 1; 报告序列为 4, 6, 9, 5, 2, 7, 1;

1997-10-17 收稿, 1998-01-23 收修改稿

^{*} 国家攀登计划和国家自然科学基金资助项目(批准号: 39570255)

(3) 报告序列与呈现序列比较, 在项目上有部分错误(在时序上也可能有错误). 如: 呈现序列为 7, 3, 5, 8, 6, 2, 4; 报告序列为 7, 3, 8, 5, 6, 1, 4.

下面我们提出短时系列记忆实验的一种新的定量分析方法, 用此方法可以对被试的报告序列的项目信息和时序信息都加以分析.

1.1 作报告序列-呈现序列分析图

为了对实验数据进行定量的处理, 我们引入一些定义. 设呈现序列为 $A: a_1, a_2, \dots, a_n$, a_i 表示其中的一个项目, $i = 1, 2, \dots, n$, 按呈现顺序排列; 报告序列为 $B: b_1, b_2, \dots, b_n$, b_j 表示其中的一个项目, $j = 1, 2, \dots, n$, 按报告序列排列. 将 a_i 与 b_j 进行比较, 定义 θ_i 值如下:

- (1) 若 $b_j = a_i$, 则记 $\theta_i = j$;
- (2) 若 $b_j \neq a_i$, 则对 θ_i 不作评分.

以 θ_i 对 i 作图, 即为报告序列-呈现序列分析图. 其中, i 表示的是一个项目在呈现序列中的顺序位置, θ_i 表示的是此项目在报告序列中出现的顺序位置. 作报告序列-呈现序列分析图即可反映一次测验中, 项目信息及时序信息在呈现序列和报告序列中的相互关系.

1.2 参数法

下面我们引入 3 个不同的参数, 对报告序列-呈现序列分析图分别进行定量的分析. 我们定义的 3 个参数是: 离散度 D 、无序度 I 和相似度 S . 这 3 个参数都与呈现序列和报告序列的项目信息及时序信息有关. 其中离散度和无序度表征呈现序列和报告序列之间偏离的程度. 相似度表征两者之间的相似程度.

1.2.1 离散度 D

$$D_{(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - i)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

式中, δ_i 的定义为: $\delta_i = \theta_i + \gamma_i$. 对 θ_i 和 γ_i 的评分方法如下: 取 $i, j = 1, 2, \dots, n$, 将 a_i 与 b_j 作比较. (i) 若 $b_j = a_i$, 则 $\theta_i = j$ (θ_i 的含义同报告序列-呈现序列分析图), $\gamma_i = 0$; (ii) 若 $b_j \neq a_i$, 则 $\theta_i = 0$, 对 γ_i 根据以下几种情况进行评分: ①若 $i = n$ 则 $\gamma_i = (n-1)^2 + i$; ②若 $a_{i+1} \neq b_{i+1}$, 则 $\gamma_i = (n-1)^2 + i$; ③若 $a_{i+1} = b_{i+1}$, 则 $\gamma_i = n-1 + i$.

设实验中对同一刺激长度重复测试 m 次, 则得到 $D_{(n)}$ 的平均值 $D_{(n)\text{mean}}$:

$$D_{(n)\text{mean}} = (D_{(n)1} + D_{(n)2} + \dots + D_{(n)m}) / m, \quad (2)$$

在离散度的计算中, $\delta_i - i$ 表示一个项目在报告序列中偏离呈现顺序的程度(偏离度). 离散度则反映整个报告序列偏离呈现序列的程度. 由于项目出现错误时 δ_i 值比项目正确时的大, 因而离散度也与项目信息有关.

1.2.2 无序度 I

$$I_{(n)} = \sum_{i=1}^n |\delta_i - i|, \quad (3)$$

式中, 对 δ_i 的评分方法及其含义同(1)式.

设实验中对同一刺激长度重复测试 m 次, 则得到 $I_{(n)}$ 的平均值 $I_{(n)\text{mean}}$:

$$I_{(n)\text{mean}} = (I_{(n)1} + I_{(n)2} + \dots + I_{(n)m}) / m. \quad (4)$$

在无序度的计算中, 由于对 δ_i 的评分方法及其含义同离散度, 因此它也与项目信息和时序信

息都有关.

1.2.3 相似度 S

$$S_{(n)} = \sum_{i=1}^n \text{score}(i), \quad (5)$$

式中, $\text{score}(i)$ 的算法如下: 在 A 中取长为 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 的连续子串 A_i , 将 A_i 与 B 比较, 记满足 $A_i \in B$ 的所有子串的个数为 k_i , 则 $\text{score}(i) = k_i \cdot c_{(i)} / (n+1-i)$. 其中, $c_{(i)}$ 的值为: $c_{(1)} = 1 \cdot 2 / n(n+1)$, $c_{(2)} = 2 \cdot 2 / n(n+1)$, $\dots$, $c_{(n)} = n \cdot 2 / n(n+1)$.

设实验中对同一刺激长度重复测试 m 次, 则得到 $S_{(n)}$ 的平均值 $S_{(n)\text{mean}}$:

$$S_{(n)\text{mean}} = (S_{(n)1} + S_{(n)2} + \dots + S_{(n)m}) / m. \quad (6)$$

在相似度的计算中, $c_{(i)}$ 为加权数列, 表示所选子串越长, 相似的程度越大, 权重也越大, 并且作归一化处理. $k_i / (n+1-i)$ 表示长为 i 的连续子串的正确率(在 A 中共有 $n+1-i$ 个连续子串), 它与项目信息和顺序信息都有关.

2 视空间短时系列记忆实验及其分析

我们进行了一组视空间短时系列记忆实验, 并且用上面提出的定量分析方法来分析这组实验数据. 共有 10 名科大学生自愿参加本实验, 被试色觉正常, 视锐度正常或校正后正常. 同创 586 微机和自制扩展的 Corsi 刺激器. 刺激器的面板上共有 15 个位置随机分布的红色发光二极管(LED)用于呈现刺激, 刺激信号为 LED 发亮. 每个 LED 上方有一按键用于被试的回忆报告. 整个实验过程由自编的记忆实验软件控制.

在 Corsi 刺激器的面板上, 不同位置的 LED 以 2 s 的时间间隔依次发亮, 每次只亮一个 LED, 发亮的持续时间为 200 ms, 要求被试在每次 LED 亮后尽快按下 LED 上方的相应按键并释放此键. 当刺激呈现完毕, 被试立即进行系列回忆, 即按照刚才亮过 LED 的位置和顺序依次按下 LED 上方的相应按键. 在呈现刺激的过程中, 如果被试在每次 LED 亮后没有及时按下 LED 上方的相应按键并释放此键, 则此次测验作为失败而不予记录.

实验中呈现的 LED 个数(刺激长度)为 2~10, 全部测验以刺激长度递增的方式进行. 在设计呈现序列时, 使相同刺激长度的测验记忆难度基本相同, 且随刺激长度的增加, 记忆难度也增加. 在一次测验中呈现的 LED 位置没有重复.

(1) 作报告序列-呈现序列分析图, 我们可以很直观地了解被试在每次测验中对项目信息和时序信息的记忆情况(见图 1).

当被试能将刺激序列的项目信息和时序信息全部保持并报告出来时, 其报告序列-呈现序列分析图呈现一条 45° 的直线(图 1(a)); 当被试能记住项目信息而不能完全记住时序信息时, 其报告序列-呈现序列分析图表现为在 45° 的直线附近波动(图 1(b)); 当被试不能完全记住项目信息和时序信息时, 其报告序列-呈现序列分析图出现间断(图 1(c)).

(2) 我们用前面提出的 3 种参数, 对相同的实验数据进行定量分析, 结果见图 2. 其中, 图 2(a) 是离散度 $D_{(n)\text{mean}}$ 对 n 的曲线, 图 2(b) 是无序度 $I_{(n)\text{mean}}$ 对 n 的曲线, 图 2(c) 是相似度 $S_{(n)\text{mean}}$ 对 n 的曲线. 由图可见, D 和 I 都随刺激长度的增加而增大(从 $D=0$, $I=0$ 开始增大), 但 D 比 I 的变化速率快, 表明 D 比 I 对刺激长度的变化更敏感. S 则随刺激长度的增加而减少(从 $S=1$ 开始减少).

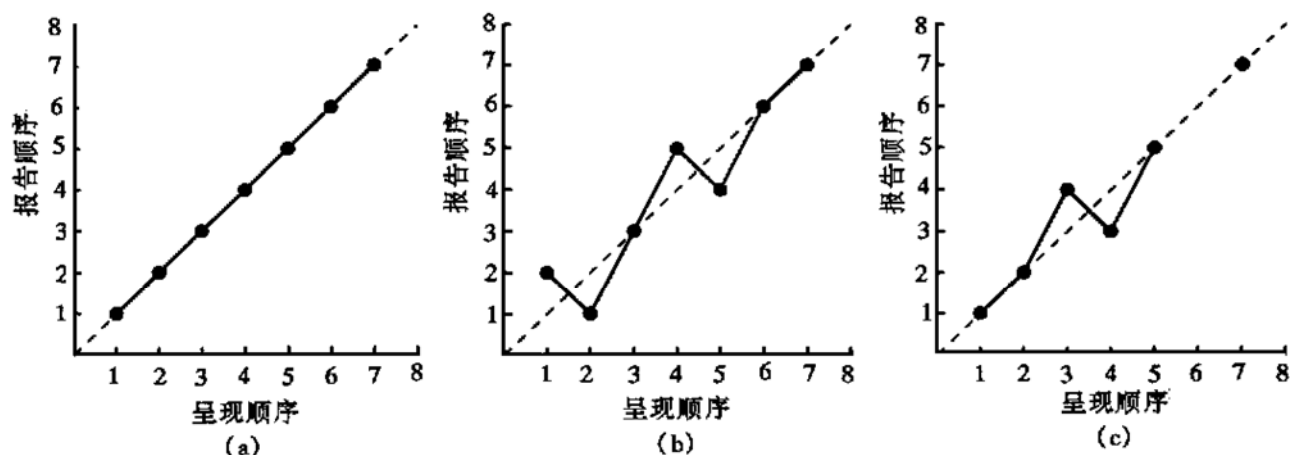


图1 报告序列-呈现序列分析图

(a) 的呈现序列为 2, 6, 8, 5, 1, 7, 3; 报告序列为 2, 6, 8, 5, 1, 7, 3. (b) 的呈现序列为 6, 4, 9, 2, 5, 7, 1; 报告序列为 4, 6, 9, 5, 2, 7, 1. (c) 的呈现序列为 7, 3, 5, 8, 6, 2, 4; 报告序列为 7, 3, 8, 5, 6, 1, 4

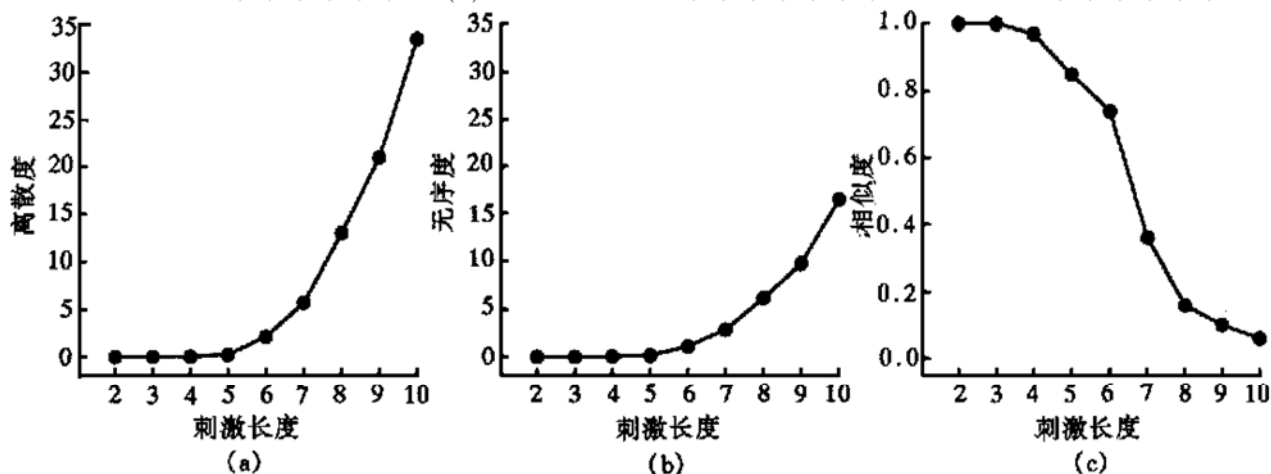


图2 离散度、无序度和相似度曲线

分别对不同刺激长度下的 $D_{(n)}$, $I_{(n)}$, $S_{(n)}$ 值进行拟合, 发现 3 个参数均随刺激长度的增加呈指数形式的变化, 方程为 $y = e^{f(x)}$. 其中, y 代表参数, x 代表刺激长度, $f(x)$ 为二项展开式.

(3) 我们将 10 名被试的 $D_{(n)}$, $I_{(n)}$, $S_{(n)}$ 分别对 n 作图进行比较, 见图 3(a)~(c). 图中每条曲线对应一个被试, 这表明 D , I 和 S 在不同被试间有分散性, 即存在个体差异.

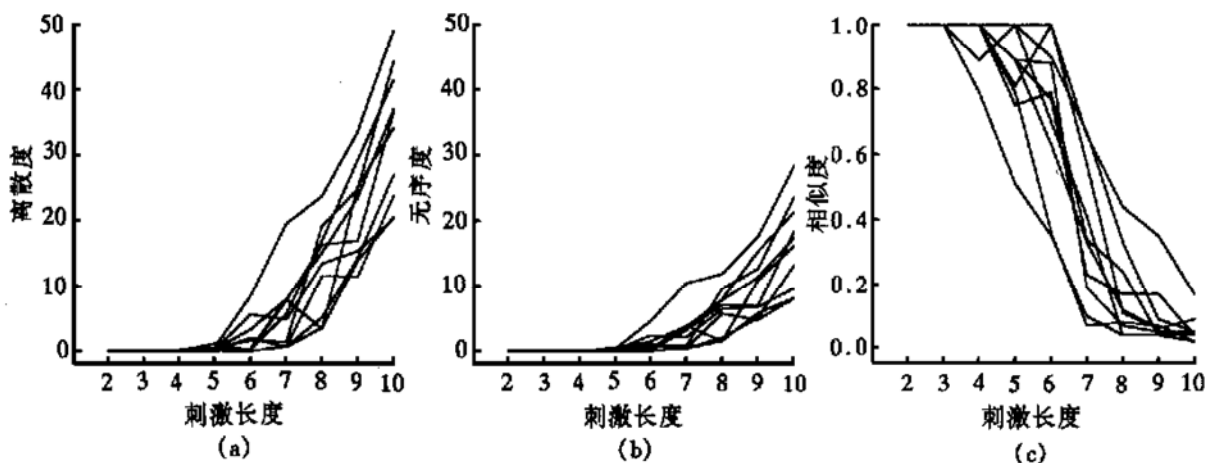


图3 10名被试的离散度、无序度和相似度曲线

3 讨论

(1) 我们提出了一种短时系列记忆实验的新的定量分析方法, 定义了离散度、无序度和相似度等参数来定量表征项目记忆和时序记忆的成绩. 新的定量分析方法和“正确率”方法的比较: 1) 所定义参数具有数学上的含义, 如相似度和离散度, 而不是简单的正确数或百分正确率; 2) 在参数计算中, 用偏离度表征项目记忆和时序记忆的错误程度, 可达到定量分析的目的, 即不是简单的对与错的评定; 3) 既定量分析正确的程度(相似度), 也定量分析错误程度(离散度和无序度).

(2) 我们用新的定量分析方法对视空间短时系列记忆实验的数据进行分析. 结果表明, 用我们的分析方法可以定量地反映项目记忆和时序记忆的一些特性. 如: 随着刺激长度的增大, 正确度(S)下降, 错误度(D 和 I)上升.

(3) 由于短时记忆的容量单位为组块^[4,5], 我们将用新的定量分析方法进一步对组块为单位的短时记忆的项目和时序特性进行实验测量和分析, 以提供更多的证据.

参 考 文 献

- 1 Levin I P, Hinrichs J V. Experimental Psychology: Contemporary Methods & Applications. NY: Wm C Brown Communications, Inc, 1995
- 2 Murdock B B Jr. Developing TODAM: Three models for serial_order information. Memory & Cognition, 1995, 23(5): 631~ 645
- 3 Lewandowsky S, Murdock B B Jr. Memory for serial order. Psychological Review, 1989, 96(1): 25~ 57
- 4 Miller G A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 1956, 63: 81~ 97
- 5 Baddeley A. The magical number seven: Still magic after all these years? Psychological Review, 1994, 10(2): 353~ 356