

特征捆绑机制的理论模型

陈彩琦^{1,2} 刘志华¹ 金志成¹

(¹华南师范大学心理系, 广州 510631) (²东北师范大学心理系, 长春 130024)

摘要 捆绑问题被认为是认知科学和神经科学的中心问题之一,对心理过程的认知神经机制研究起到了重要推动作用。特征捆绑机制研究有认知和神经科学两大范式。特征整合论在认知理论中最具代表性,形式理论修正了其在错觉性结合测量等方面的不足,双阶段理论突出了前注意捆绑。时间同步性理论是影响最大的捆绑理论,神经网络模型为捆绑机制提出了更具体的结构模型。两大范式的整合及由低级认知过程向高级心理过程的深化可能是今后捆绑机制研究的重点。

关键词 特征捆绑, 错觉性结合, 神经同步发放。

分类号 B842.1

特征捆绑 (feature binding) 这一概念最早是在特征整合和知觉区分的研究中提出的^[1]。该概念的提出对心理过程的认知神经机制研究起到了重要推动作用^[2]。现在捆绑概念已被引入客体知觉、注意、工作记忆和情境记忆、运动控制、语言加工、逻辑推理以及意识唤醒的产生与维持等研究领域^[3]。Von der Malsburg 指出,以往有关认知过程的神经模型的主要缺陷就在于没有适当对待捆绑问题^[2]。事实上捆绑问题已成为当前脑科学研究的主要问题之一^[4],是神经科学中需长期研究的一个中心问题^[5]。近年来捆绑理论已经成为意识争论中的一个焦点问题^[3]。然而从文献上看,国内这方面研究和介绍尚不多,为此本文试图对有关特征捆绑机制的研究作一较系统的综述,并对今后研究重点做一定思考。

1 特征捆绑的含义

大量的神经解剖学和神经生理学研究表明,不同感知信息是在大脑的不同脑区得到处理的,同一客体的表征分布于大脑的不同部位。以视知觉为例,颜色与形状等客体特征在枕叶到颞叶的腹侧通路上得到表征,而运动等空间特征在枕叶到顶叶的背侧通路上得到表征。因此,为把外部世界的客体知觉为一个整体,需把散布于不同皮层区的分散信息合理地组合在一起。这就是所谓的“捆绑问题”(binding problem)^[1,2,6,7]。

虽然捆绑问题已得到广泛研究,但不同研究者对其内涵往往有不同理解,从而影响其研究的深入。Engel 和 Singer 结合捆绑问题研究的新发展,对各领域研究者在捆绑问题界定上的共识进行了概括^[3]。可归为以下四点:(1) 因信息加工分布于不同脑区或亚系统的神经元上,所以参与同一认知过程的神经元应打上同一“标记”(tagged)。这样就需要一种机制来传达各神经信号之间的特定关系,这种机制就是捆绑机制。(2) 复杂环境中的感知和行为,通常需要对不同客体或事件的信息进行平行加工,而这些信息又必须能相互区分以实现正确知觉或完成目标行为。因此,与特定客体相关的神经活动应该与无关信息区分开,以免混淆或错误结合。(3) 为保证句法结构生成和认知过程的系统性和创造性,分布式激活模型中的捆绑应该是特殊而灵活的。(4) 大多数认知功能要求从丰富的备选信息中实现对相关信息的选择。捆绑是以突显一部分信息、并将这些信息与特定的相关内容结合起来为前提条件的。

2 有关特征捆绑机制的认知理论

2.1 捆绑的特征整合理论

Treisman 的特征整合论认为,特征从早期阶段的平行加工到后期的整合是通过空间注意模型实现的^[1]。

收稿日期: 2003-03-08

通讯作者: 陈彩琦, Email: chencq75@263.net; 电话: 020-38745058

该模型包括一个位置主地图和一套彼此独立的特征地图。位置主地图用于登记客体所在的位置，但不通达该位置所在的特征。特征地图中主要包含两种信息：一是“标志旗”，用于标记某特征是否在视野中的某处；二是关于当前特征空间排列的一些内隐信息。每个特征地图内的觉察器与主地图中的单元相联系。为了把“什么”和“哪里”捆绑起来，注意窗口在位置主地图内移动，从特征地图中选择任何与当前注意位置相联系的特征；同时暂时把所有其他客体的特征排除在知觉水平之外。这样被注意的特征就成为当前激活的客体表征，它们之间的结构关系也得以分析，从而避免了捆绑错误。建立统一的客体表征之后，就可以与所储存的模板进行匹配并得以识别，相关的行为也随之可以完成。可见，视觉特征捆绑通过对空间位置的注意实现，对同一位置的注意能使该位置的视觉成分被捆绑起来。

捆绑的特征整合理论得到了错觉性结合、顶叶损伤和脑功能成像研究的支持。根据该理论，当增加注意负载或提供不精确的空间信息时，特征捆绑会受到干扰。Treisman 发现，当给被试短暂呈现不同颜色的字母，然后要求被试报告同时呈现的另一字母的特性时，发现存在显著的错觉性结合错误。（如，如果呈现一个红色的 X 和蓝色的 O 时，被试有时会很自信地报告看到了红色的 O 或蓝色的 X）。被试的错误报告可分成两类：一类是所呈现的特征之间的错误结合，叫错觉性结合；另一类是与未呈现特征的结合。结果发现，未呈现特征错误结合的比率只有 6%，而呈现特征间的错误结合率到达 18%。可见，呈现特征得到识别，但在特征的捆绑上出现问题。该实验结果用特征整合理论可以得到较好的解释：此研究中之所以出现较高的错觉性结合率，是因为在短暂的快速呈现条件下，被试不能把注意指向客体特征的共同位置，因而不能把这些特征捆绑起来。

Friedman-Hill、Robertson 和 Treisman 发现，双侧顶叶损伤病人能平行觉察明显的单个刺激特征，但在联结搜索（conjunction search）任务中存在严重缺陷^[8]。即使在自由浏览条件下（被试有足够的加工时间），该种病人仍产生所呈现刺激的形状与颜色之间的错误结合。他们指出，出现上述结果可能是因为顶叶损伤破坏了被试位置主地图内的注意操作，从而损害了捆绑过程。捆绑的特征整合论也得到了猴脑单细胞记录、PET 成像和透颅骨磁刺激仪（TMS）研究的支持。

然而，特征整合理论却难以解释另外一些研究结果，如根据特征整合论，错觉性结合不受刺激间距的影响。但后来很多研究者发现，相近的项目比相距较远的项目更容易产生错觉性结合^[9]。此外，人们发现特征在被注意之前就能以一种空间上平行的方式捆绑^[10]。另外有研究发现，错觉性结合不仅仅是由特征捆绑的失败造成的，还受到刺激的组织方式以及先前的知识经验等因素的影响^[11]。

随着研究的深入，人们意识到传统的特征整合论还存在以下不足：（1）传统的特征捆绑都通过有意识的报告测量，没有采用无意识的内隐的指标；（2）都根据即时报告的结果考察，没根据记忆报告的结果进行考察；（3）所涉及的信息只是刺激的特征和位置，没有涉及行为和知觉事件之间的捆绑。而这些研究对更一般性的捆绑机制的揭示具有重要意义。为此，人们开始用负启动范式等间接测验法考察内隐捆绑的问题^[12]。Treisman 指出，内隐捆绑与外显捆绑两方面的研究说明捆绑问题可能与意识的本质联系在一起^[7]。最近，Wheeler 和 Treisman 考察了在视知觉中捆绑起来的特征联结在工作记忆中是否以相似的方式捆绑起来作为储存单元，发现捆绑的维持与建立一样，可能都需要集中性注意的参与，而且容易受无关信息或事件的干扰；指出客体特征的捆绑机制是视觉工作记忆容量和认知加工资源有限的内在基础^[13]。可见传统的特征整合论仍在不断修正和深化，以便于解释更高级、更复杂心理过程中的信息捆绑问题。

2.2 特征捆绑的形式模型

错觉性结合研究是特征整合论最重要的认知行为证据来源。但是越来越多的研究发现，Treisman 等人对错觉性结合实验的数据分析存在问题，其研究中很多联结反应的错误实际上是由于猜测造成的而不是错误的特征捆绑造成的。这样就难以确定特征捆绑错误是否真正出现。

针对特征整合论在解释相近的项目比相距较远的项目更容易产生错觉性结合这一事实上的困难以及数

据分析上存在的问题, Ashby、Prinzmetal 和 Ivry 等人提出了特征捆绑的形式模型^[9]。该理论认为, 之所以发生错觉性结合是因为个体对视觉特征的知觉产生了位置错误。也就是说, 特征捆绑错误是由于对特征位置知觉的错误造成的。该模型并采用多项式模型来排除其中猜测效果的影响, 用数学参数(正确特征捆绑的概率以及特征正确识别的概率)精确地估计了真实错觉性结合发生的概率。他们在部分报告实验中发现, 当靶子和非靶子距离比较接近时, 真实的(排除了猜测成分)错觉性结合出现率较高, 也就是说特征捆绑的错误较多; 同时正确捆绑的可能性随着靶子与非靶子间距离的增加而增大。这一结果用特征整合论无法解释, 却支持了形式模型关于注意范围内距离对错觉性结合有影响的观点。

捆绑的形式理论所提出的多项式模型能较好地解决特征整合论在数据分析中的问题。它不仅可以通过各种参数估计真实错觉性结合的概率, 而且还能够用同样的方法对错觉性结合实验中的其他理论进行模式化。如顶叶损伤病人大量的联结反应可能由视觉消失也可能由特征结合的失败引起的, 通过多项式模型的公式可检测病人的操作到底是两种原因中的哪一种造成的。可见, 位置不确定理论的多项式模式化方法具有一般性和灵活性的优点。

尽管如此, 有关错觉性结合的测量、解释和影响因素的研究还存在很多困难, 甚至产生了新的争论。Donk 指出, Ashby 等的形式模型无法解释由靶子-非靶子混淆引起的错误联结反应, 即当非靶子被错误知觉为靶子, 或靶子被错误知觉为非靶子时所产生的错误反应。如靶子是红色的 T, 非靶子是绿色的 O, 如果被试把 O 知觉为 T, 就发生类似于错觉性结合现象的混淆错误。研究表明, 在典型的错觉性结合实验情境中, 这种错误很容易发生。然而, 以往的错觉性结合测量和解释都没有考虑到这种可能。在其系列实验的基础上 Donk 得出结论, 错觉性结合实际上是一种人为的现象 (artifact), 而不是真正的心理现象^[14]。Prinzmetal, Diedrichsen 和 Ivry 对该观点进行反驳, 指出虽然靶子-非靶子混淆错误是导致错觉性结合的可能原因, 但是大量错觉性结合实验不能用这种混淆模型解释, 而只能用特征捆绑失败进行解释; 而且认为 Donk 的研究在方法上存在问题, 个别实验存在矛盾之处^[15]。但是, Donk 对 Prinzmetal 等的批评又进行了反驳, 认为后者的批评没有说服力^[16]。因此该争论尚无结果。

最近 Prinzmetal、Ivry 和 Beck 等指出, 虽然人们已采用不同程序用来校正错觉性结合实验中的猜测效果及其他影响因素, 但是这些方法在理论上都缺乏验证, 很可能导致错误结论^[17]。如 Ashby 等的模型在参数、尤其是猜测参数的设置上还存在问题, 每个参数都代表双重状态 (binary states)。为此他们进一步发展了错觉性结合测量的多项式模型。该新模型采用了可能导致特定反应的五种心理参数: TL (正确识别靶子字母的概率), TC (正确识别靶子颜色的概率), NC (正确识别非靶子颜色的概率), β (将靶子颜色与靶子字母捆绑起来的概率) 以及 g (猜测参数)。经系列实验检验, 该模型在测量特征捆绑上具有很强的有效性。但 Prinzmetal 等仍指出, 该测量模型并非最终正确的模型, 而只是走向建立更好模型的一个步骤。因此捆绑的形式模型仍需不断完善。

2.3 捆绑的双阶段理论

Humphreys、Cinell 和 Wolfe 等针对传统的特征整合论和形式模型只考虑注意阶段捆绑, 而忽视了前注意阶段捆绑的不足, 经系列实验, 提出了捆绑的双阶段理论^[11]。

该理论认为, 特征捆绑分为前注意捆绑和注意捆绑两个阶段。在第一阶段, 客体的组成部分(即整体特征)先得到捆绑, 从而使客体有一个整体形象。如在视知觉中, 先把形状等整体特征捆绑成一个客体轮廓。该阶段的捆绑是前注意的, 可能在腹侧视觉系统内发生, 包含根据刺激属性对整体成分的自下而上的组织过程, 同时也包括根据已储存的有关客体的表征进行自上而下的激活。在第二阶段, 对客体的细节特征进行捆绑。再结合第一阶段的捆绑, 便形成客体的具体完整的形象。如在视知觉中, 客体的整体形状与颜色等表面特征的捆绑就属于此阶段的捆绑。该阶段的捆绑需要注意的参与, 顶叶起关键作用。

Humphreys 等人以双侧顶叶损伤病人 GK 为被试, 经系列实验发现, 客体的形状各成分之间的错觉性

结合,跟形状与颜色等表面特征之间的错觉性结合有不同的特点。前者受到刺激属性的组合方式(如相互嵌套、形状相似性、共线性关系、线条联结等)的影响,表现出促进性的刺激组合效应;而后者不受刺激组合方式的影响,即无刺激组合效应。该结果说明,两种形式的特征结合(或捆绑的机制)是不同的。由于特征组合方式对错觉性结合的影响是前注意性的,因此,形状各成分之间的捆绑应该是前注意捆绑。而 GK 与正常被试的对比表明,GK 在形状与颜色之间的错觉性结合率显著高于正常被试。这说明注意在该阶段起重要作用。Humphreys 等人还发现,当刺激呈现于大脑的同侧半球时,刺激组合效应大于呈现于两侧半球时的情况;而形状与颜色的错觉性结合率却不受刺激呈现于大脑同侧还是两侧的影响。该结果表明,在出现刺激组合效应的加工阶段,神经细胞对刺激所进入的那个半球具有较高的敏感性;而在形状与颜色的捆绑阶段,神经细胞可对双侧输入的信息进行反应。由此可推论,形状各成分之间的捆绑发生于较早的阶段,而形状与颜色等表面特征的捆绑发生于较晚的阶段。

上述结果用特征整合论很难解释,而用捆绑的双阶段理论却能得到合理的解释。该理论对捆绑的机制作出了更细致的区分,并融合了两种不同层次的捆绑现象,对建立系统的捆绑理论具有重要意义。

3 有关特征捆绑机制的神经科学理论

3.1 捆绑的时间同步性理论

时间同步性理论(temporal synchronization)被认为是最有影响的捆绑理论。该理论认为,特征捆绑建立在同步发放的神经元的基础上,通过神经活动的同步激活实现^[2,3,6]。表征同一客体或事件的神经元能够以精确到毫秒的时间同步性激活其对应行为。而这种同步激活在负责不同表征的细胞或细胞群之间不会发生。这种瞬间的情境依赖性同步激活是捆绑的关键机制。同步激活能对负责某客体编码的神经元的反应作出选择性标记,并能将它们从被其他客体激活的神经元的反应中区分出来。这种高度选择性的时间结构,使得多种细胞群能在同一个神经网络中同时激活并彼此区分。此外,基于时间同步性的捆绑还充当选择下一步加工对象的机制。因为精确的同步激活,使特定内容成为高度突显的事件,从而使这种事件能被其他脑区对时间一致性敏感的神经元觉察到。这些被选择性激活的神经元随后可以在不同的区域完成捆绑操作,使这种激活模式能在神经网络内传递并进一步得到加工。

时间同步性理论的证据主要来自神经生理学的研究。神经生理学的研究表明,同步发放通常采取 40~70 赫兹的同步振荡的形式,锁相 40 赫兹振荡可能是脑对捆绑问题的最好解答。锁相(phase-locked)神经振荡通过标记与某视觉刺激相关的发放神经元,实现特征捆绑。许多研究者观察到了这种同步性神经发放的证据^[19]。如,Gray、Konig 和 Engel 等在清醒的猫的电生理实验中发现了 40 赫兹的振荡,当从两个不同位置进行单元记录时,振荡就成了锁相振荡,相移幅值为 3 毫秒^[18]。随后他们在麻醉猴子的 V1 区皮层也相继发现了稳定的振荡。事实上,以动物为对象的研究表明,神经同步发放在不同的物种、不同的皮层系统存在惊人的普遍性^[3]。在大量研究的基础上对同步发放可概括出如下特征(1)非常精确,耦合窗(coincidence window)约为 10 毫秒;(2)反映了特征空间的拓扑学性质,依赖于感受野的接近程度和神经特征偏向(neuronal feature preferences)的相似性;(3)同步发放可以是内源的也可以是外源的,当刺激缺乏清晰的时间结构,或从事自我生成的活动时,发生内源性同步发放,这种发放通过内部固有的相互联系实现;当要求对迅速消失的刺激做反应时,发生外源性同步发放,通过同步输入的感知信号引发;(4)同步发放通常与 频段(30~60 赫兹)的振荡模式相联系。

时间同步性理论也得到了一些认知心理学研究的支持。Blake 和 Yang 设计了一种新的心理物理任务,要求被试检测复杂视觉图形的组成特征在时间上的同步性^[19]。结果发现,当组成复杂图形的两种特征源于同一个有意义的原始图形时(如同一图片的上、下两部分),比混合图形的特征在时间上的同步模式更易于检测。并且在空间上一致的特征在时间上的变化能产生更强的神经信号。该研究为时间同步性理论提供了心理物理上的依据。

该理论在深入揭示许多认知加工的内在机制上具有明显优势。如 Vogel, Woodman 和 Luck 用该理论解释了为何视觉工作记忆容量只有 3~4 个单元^[21]。当工作记忆中需保持两个客体时,根据神经同步激活理论,负责相应特征的神经活动如图 1 所示。左侧方框表示有两个视觉刺激,一个是红色垂直的刺激,另一个是绿色水平的刺激。右侧每轴表示用于编码特定特征的神经元的在一段时间内的活动,短线段表示一个动作电位。红色与垂直由于属于同一客体,负责这两种特征的神经元以一种时相同步激活;同理,负责绿色与水平的细胞以另一种时相同步激活。由于负责两客体的细胞活动时相不同,二者可彼此区分,因此在工作记忆中可清晰保存。但是,负责两个客体的细胞活动也会偶然同步,如图中箭头指向处。随着工作记忆中需保持的刺激数增加,这种偶然同步激活就会增多,不同刺激之间的区分难度也会增大。刺激项目增加到一定程度,偶然同步激活过多,工作记忆就无法对项目进行区分,从而达到容量的极限。这就是用特征捆绑的时间同步性理论揭示的视觉工作记忆容量有限的实质。

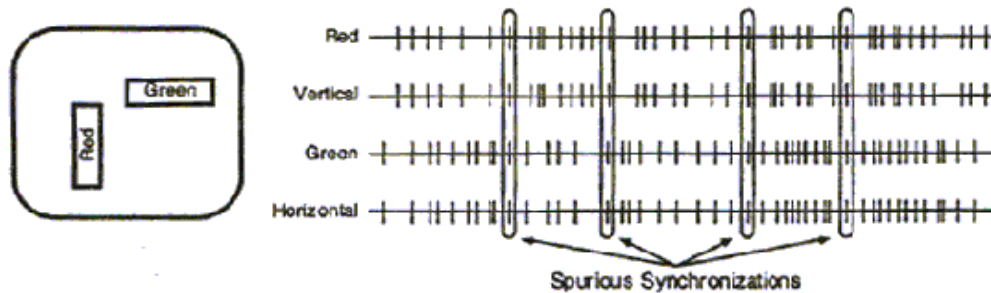


图 1 视觉工作记忆容量有限的实质 (引自 Vogel 等, 2001)

基于时间信号同步性的捆绑机制具有对机能结构要求低、适用面广和灵活性强的优点。Von der Malsburg 指出,即使神经系统中只有一小部分捆绑问题可以用时间同步性理论解释,那么它就会在脑功能研究中起到重要作用,为大量困扰人们已久的问题提供研究基础^[2]。Engel 等也指出,尽管时间捆绑说具有很大的推测性,但目前尚没有更好的理论来代替它解释各种涉及捆绑问题的认知功能的神经机制^[3]。

3.2 捆绑的神经网络模型

捆绑的神经网络模型是由 Watanabe, Nakanishi 和 Aihara 提出的^[4]。该模型由一个主地图 (primary map) 和两个高级模块组成。两模块分别负责主地图中两种不同的特征。每个模块又分三个层级,各层级之间是两两双向联结的。外界的客体就是由分布于主地图和两个高级模块中的“整体的动态细胞集”表征的。细节的、并在空间上局限于某部位的信息,是在主地图中编码的;而粗糙的、并在空间上提取出的复杂特征信息 (或总体上整合的信息) 是在两个高级模块中表征的。特征捆绑就是在“整体的动态细胞集”的作用下完成的。该模型的基础是神经网络的“功能性联结”和“双向联结”。功能性联结是指用耦合觉察器编码神经网络的时间脉冲 (temporal spike) 所特有的神经元之间动态的联结。这种联结不同于传统的突触联结,因为其值可以随神经网络兴奋水平的动态变化而变化,其强度由耦发动作电位与每个神经元的时间一致性水平决定,直接受神经网络时空动态变化的影响。由这种功能性联结联系起来的细胞群称为“动态细胞集”。该模型使用功能性双向联结的概念,可以不需引入时间同步说的神经震荡单元 (oscillatory units), 就可以解释时间上同步的神经发放现象。

该模型得到了计算机模拟结果的证实。该理论采用神经网络和计算机模拟范式为捆绑机制提出了更具体的结构模型。由于该模型是新近提出,目前似乎尚未引起广泛注意。

4 小结与展望

综上所述,有关特征捆绑机制的研究存在认知范式和神经科学范式两大途径。特征整合论在捆绑的认知理论中最具代表性,形式理论主要针对特征整合论在错觉性结合测量和影响因素研究上的不足提出,双

阶段理论则主要针对二者在前注意捆绑研究上的欠缺提出。但传统的特征整合论仍具有较强生命力,正向内隐捆绑和高级认知过程中的捆绑研究不断深化。时间同步性理论是最具影响的捆绑理论,能解释大量心理现象的内在机制,但存在过于抽象,推测性大的局限。神经网络模型为捆绑机制提出了更具体的结构模型,为深入了解捆绑本身的内在机制做出了有效探索。随着认知神经科学和神经生理学的发展,捆绑机制的研究必将日益深入。今后的研究可能将侧重以下几个方面:

4.1 认知范式与神经科学范式的整合

从文献上看,捆绑的认知研究和神经科学研究虽然出发点相同,即都是捆绑问题,但各自的理论观点相差很大,甚至互不相干。为了对捆绑机制有更全面的认识,这两种研究的整合势在必行。这种整合的途径可能就是认知神经科学研究。一方面,认知研究应加强通过脑成像技术揭示捆绑任务的神经机制;另一方面,神经生理研究应寻求与心理物理研究的结合。如,时间同步性理论若能得到广泛的认知行为证据或和认知神经科学数据的验证,其理论观点必将更加明确具体。捆绑的双阶段理论虽然试图建立一个整合的理论,但由于其采用的仍然是认知研究范式,尚无法将时间同步性理论融入其中。因此,在捆绑理论的融合和研究范式的整合,可能是今后捆绑机制研究的一个重要方向。

4.2 从低级认知过程向高级心理过程的深化

Wheeler 和 Treisman 指出,有关知觉过程中的捆绑问题已得到大量研究,但是有关捆绑信息的保存与提取这类记忆过程中的捆绑以及其他高级心理过程中的捆绑研究还很少^[13]。知觉捆绑只是注意网络解决各种认知任务中一般性捆绑问题的特例。这种一般性捆绑包括跨通道捆绑、概念间捆绑、高低层级间捆绑、甚至心理过程之间的捆绑(如情感、动机和认知活动的捆绑)。如最近 Dolan, Morris 和 Gelder 研究的恐惧面孔与恐惧声音的捆绑^[22]就属于跨通道捆绑。视觉特征的捆绑与这些更复杂,更一般性的捆绑在实质上可能一致也可能存在差异。因此,需要通过考察记忆、言语、问题解决或决策等高级心理过程中的捆绑机制及其与知觉捆绑的关系,以建立系统的一般性捆绑机制理论。这些研究对彻底揭示捆绑的机制以及捆绑在人类行为和脑功能中的作用无疑具有重要意义。

参考文献

- [1] Treisman A M, Gelade G. A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 1980, 12(1): 97~136
- [2] Von der Malsburg C. Binding in models of perception and brain function. *Current Opinion in Neurobiology*, 1995, 5(4): 520~526
- [3] Engel A K, Singer W. Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in cognitive Sciences*, 2001, 5(1): 16~25
- [4] Watanabe W, Nakanishi K, Aihara K. Solving the binding problem of the brain with bi-directional functional connectivity. *Neural Networks*, 2001, 14(4): 395~406
- [5] Slotine J E, Lohmiller W. Modularity, evolution, and the binding problem: a view from stability theory. *Neural Networks*, 2001, 14(2): 137~145
- [6] Singer W, Gray C M. Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 1995, 18: 555~586
- [7] Treisman A. Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B.*, 1998, 353: 1295~1306
- [8] Friedman-Hill S, Robertson L C, Treisman A. Parietal contributions to visual feature binding: evidence from a patient with bilateral lesions. *Science*, 1995, 269(5225): 853~855
- [9] Ashby F G, Prinzmetal W, Ivry R, et al. A formal theory of feature binding in object perception. *Psychological Review*, 1996, 103(1): 165~192
- [10] Enns J, Rensink R A. Preattentive recovery of three-dimensional orientation from line drawings. *Psychological Review*, 1991, 98(3): 335~351
- [11] Humphreys G W, Cinel C, Wolfe J, et al. Fractionating the binding process: neuropsychological evidence distinguishing binding of

- form from binding of surface features. *Vision Research*, 2000, 40(12): 1569~1596
- [12] DeSchepper B, Treisman A. Visual memory for novel shapes: Implicit coding without attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1996, 22(1): 27~47
- [13] Wheeler M E, Treisman A. Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2002, 131(1): 48~64
- [14] Donk M. Illusory conjunctions are an illusion: the effects of target-nontarget similarity on conjunction and feature errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1999, 25(6): 1207~1253
- [15] Prinzmetal M, Diedrichsen S, Ivry R B. Illusory conjunctions are alive and well: A reply to Donk(1999). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2001, 27(3): 538~541
- [16] Donk M. Illusory conjunctions die hard: A reply to Prinzmetal, Diedrichsen & Ivry(2001). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2001, 27(3): 542~546
- [17] Prinzmetal M, Ivry R B, Beck D, et al. A measurement theory of illusory conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2002, 28(2): 251~269
- [18] Gray C M, Konig P, Enge, A K, et al. Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 1989, 338: 334~337
- [19] Blake R, Yang Y. Spatial and temporal coherence in perceptual binding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94(13): 7115~7119
- [20] Knoblauch A, Palm G. Pattern separation and synchronization in spiking associative memories and visual areas. *Neural Networks*, 2001, 14(6): 763~780
- [21] Vogel E K, Woodman G F, Luck S J. Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2001, 27(1): 92~114
- [22] Dolan R J, Morris J S, Gelder B. Crossmodal binding of fear in voice and face. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(17): 10006~10010

Theoretical Models on the Mechanisms of Feature Binding

Chen Caiqi^{1,2}, Liu Zhihua¹, Jin Zhicheng¹

(¹ Department of Psychology, South China Normal University, Guangzhou, 510631)

(² Department of Psychology, Northeast Normal University, Changchun, 130024)

Abstract: Binding problem is regarded as one of the central themes of cognitive science and neuroscience. The research on feature binding has given a great impetus to studies on cognitive and neural mechanisms of many mental processes. There are two approaches to the research on the mechanisms of feature binding, that is, the cognitive paradigm and the neuroscience paradigm. Among the cognitive theories, Feature Integration Theory (FIT) is the most representative; the formal theory is characterized by its modification in the measurement of illusory conjunction and in other aspects that were not properly dealt with by FIT, while the two-stage theory bridges the gap between pre-attentive binding and post-attentive binding. The temporal synchronization theory in neuroscience has been the most influential theory on binding mechanisms up till now, whereas the newly proposed neural network model appears to provide a more specific insight into the neural mechanisms of feature binding. Two trends were predicted that the integration of cognitive paradigm and neuroscience paradigm and deepening from researches of binding in basic cognitive processes to those in high-level psychological processes might be the focus of relevant researches in the future.

Key words: feature binding, illusory conjunction, neuronal synchronization.