

常乐-物体和面孔识别的神经机制

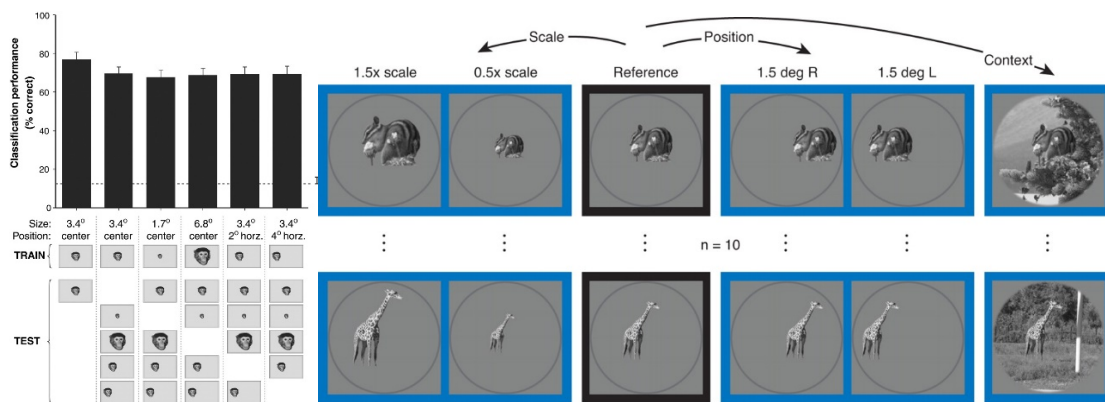
➤ 重点问题：

如何定义视觉的不变性？视觉不变性是对哪些变化呈现的不变性？

视觉不变性是高等动物视觉系统的基本特征之一。我们的大脑可以在视觉目标呈现在视野的不同位置、容许图案按比例缩放或旋转一定角度对其进行准确的识别，这种对变化的视觉输入得到稳定的视觉输出的特性即为视觉的不变性。

不同的变化有：视觉目标在视野的**不同位置（position）**，视觉目标在视野中的**大小（scale）**，视觉目标的**背景不同（context）**，视觉目标的**视角不同（view）**，视觉目标的**姿势（posture）**等等与物体本身无关的性质。

如何设计实验定量分析视觉神经元的不变性？



对于一个神经元群体，我们可以从它们的编码的角度去分析它们的视觉不变性。首先，我们可以用一组视觉刺激（在视野的特定位置、特定大小、特定视角……的一组物体）呈现给被试，并利用其神经元的响应（response vector）去训练一个分类器，并用这个分类器在训练集上的正确率作为参考；随后给被试呈现另一组视觉刺激（在视野的不同位置、不同大小、不同视角……的同一组物体）作为验证集进行交叉验证（cross validation），**测试这个分类器的泛化能力**，用验证集上的分类正确率作为视觉不变性的评价指标，如果与训练集上的分类正确率越接近说明不变性越强（如上图）。

对于单个神经元而言我们可以给它呈现一组以不同的位置、大小、视角呈现的相同物体，并计算在不同的刺激呈现的**发放序列的相关性（spike train correlation）**，与呈现不同物体的 spike train correlation 作比较，它们之间的差异即可衡量该神经元的视觉不变性。（常老师上课没讲单神经元，这个只是一种可能的答案）

➤ 历年考题：

（2018 年）识别对自己有害或有利的物体（如天敌、食物等）对动物的生存至关重要。很多动物可以通过物体对光的反射模式对物体本身的属性进行推断，这一过程即是视觉。视觉物体识别的一个重要属性是不变性（invariance），这是一种随着视觉加工层级升高而越变越强的性质。问题如下：

1) 请用简单的语言解释：什么是不变性？具体而言，是对哪些变化呈现不变性？

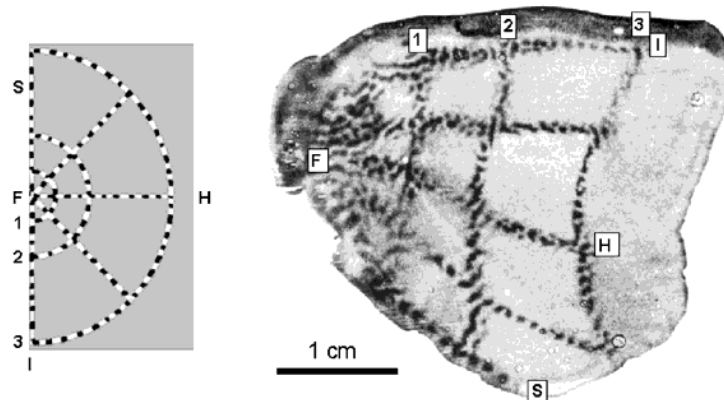
2) 如何定量地研究视觉神经元的不变性？可以用简单的例子来阐述，具体的数据分析方式既可以是在单细胞角度，也可以在群体细胞角度，只要合理即可。

➤ 其他内容：

1 视觉信息加工的基本规律：感受空间范围逐级增大、表征不变性增强、编码的特征变复杂

1.1 初级视觉皮层（V1）：

视网膜拓扑性（retinotopy）：视觉系统中的细胞可以根据上游视网膜中 RGC 的相对位置进行相应的拓扑排列，但具有中央视野更为精确的特点（图中 F1、F2 较长）。



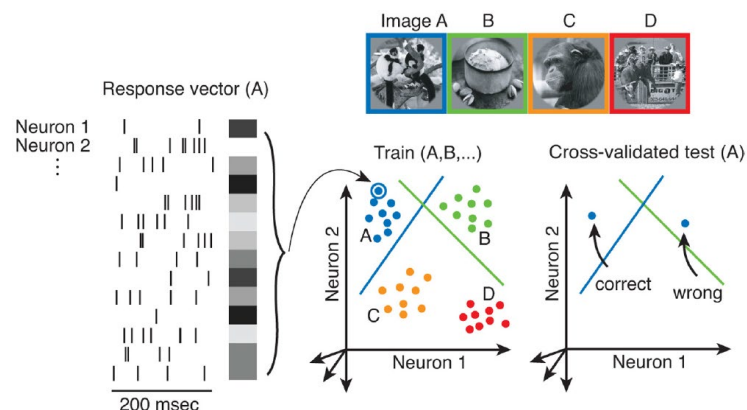
边缘检测、方向选择性

1.2 V2-V4：

对一些组合特征有反应

1.3 下颞叶皮层（IT）

物体选择性：利用神经元的 **response vector** 训练一个分类器，可以区分不同的视觉刺激，利用对视觉刺激进行分类的准确率可以定量分析物体选择性（如下图）。

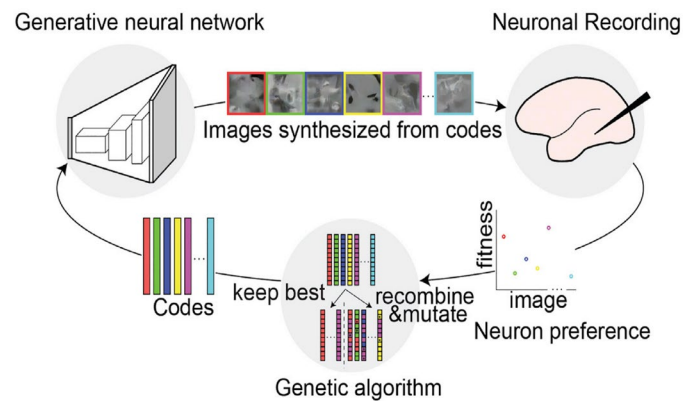


视觉不变性：（略）

2 下颞叶神经元的计算模型

深度卷积神经网络：卷积、池化、全连接，网络能够很好地拟合腹侧视觉通路各

层级的反应



利用生成网络生成 IT 区神经元的偏好刺激——网络的全连接层作为 codes，利用遗传算法在不同 codes 之间随机组合（mutate），用新的 codes 生成图片，人为选取能引起神经元较大发放的图片（evolution），从而找到一个神经元最为偏好的刺激。

3 灵长类大脑面孔加工的基本规律

fMRI 定位了 IT 区的 7 个面孔脑区（face patches）

面孔细胞对部分面孔特征的存在与否和形状呈现选择性

面孔细胞的视角不变性：从后往前依次增强（后：单个视角；中：两个对称视角，前：几乎所有视角）

大量的面孔图片→主成分分析→面孔空间（形状维度、亮度维度）→面孔空间的不同维度去拟合神经元的活动→神经元的偏好轴→神经元的调谐

由于神经元在与其偏好轴垂直的轴上发放几乎相同，所以实验证据不太支持 IT 区的面孔神经元为祖母细胞，若为祖母细胞，应该是对某一个个体的面孔发放强烈，面孔细胞编码的是抽象的面孔特征