

SCNS2025 大作业：Allen Brain Observatory 视觉神经信息解码探索

教师：洪波 hongbo@tsinghua.edu.cn

助教：么欣彤 yaoxintong23@mails.tsinghua.edu.cn

视觉系统编码规律的发现对神经科学与人工智能领域具有深远的启示。本实验请大家分析小鼠在不同视觉刺激下视觉皮层的神经细胞活动，探索视觉皮层的神经编码机制，尝试机器学习方法在神经科学高维数据分析中的应用，体会和思考神经科学与机器学习的双向互动。

本实验使用 Allen Brain 被动视觉任务双光子钙成像数据集。该数据集记录了 243 只小鼠在进行视觉任务时大脑视觉皮层 6 个脑区（V1, LM, AL, RL, AM, RM）近 60,000 个神经元的双光子钙成像（Two-photon calcium imaging）信号。视觉任务如图 1 所示（四种基本刺激类型：运动光栅 Drift gratings、静止光栅 Static gratings、自然场景 Nature scenes、自然电影 Nature movies）。

请大家分析神经细胞的响应规律（tuning）、尝试通过神经活动解码视觉刺激特征（decoding）、并仿照 Hubel 与 Wiesel 猜想细胞集群协同工作的理论模型（modelling）。

实验范式介绍：

Drift gratings: https://observatory.brain-map.org/visualcoding/stimulus/drifting_gratings

Static gratings: https://observatory.brain-map.org/visualcoding/stimulus/static_gratings

Nature scenes: https://observatory.brain-map.org/visualcoding/stimulus/natural_scenes

Nature movies: https://observatory.brain-map.org/visualcoding/stimulus/natural_movies

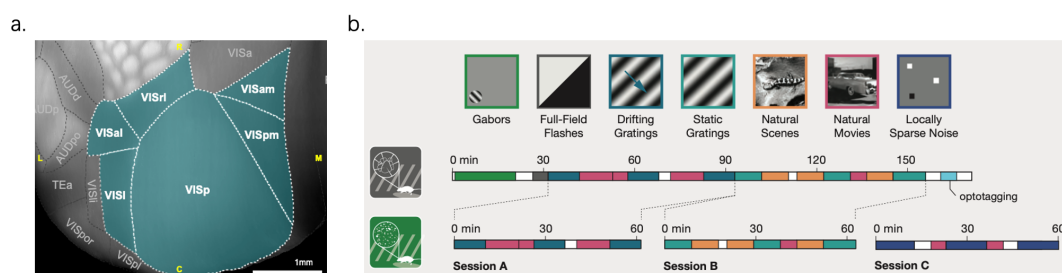


图 1.数据集基本介绍。a：视觉皮层脑区空间分布图：VISp: V1；VISl: latero-medial area (LM)；VISal: antero-lateral area (AL)；VISrl: rostro-lateral area (RL)；VISam: antero-medial area (AM)；VISpm: postero-medial area (PM)。b：实验范式^[1-3]。

请根据提示完成以下任务：

1. （基础任务）Tuning

(1) 请分析小鼠在进行 static grating 任务时的神经数据（分别分析 VISp、VISal、VISl），筛选对光栅方向、空间频率有选择性的细胞，请描述细胞对这些刺激的响应规律，并画出其空间分布；

(2) 请聚焦于初级视觉皮层（VISp），视野中是否存在 simple cell、complex cell？请设定一个你认为合理的标准，筛选符合条件的细胞。

2. （基础任务）Decoding

（1）请尝试采用一次实验中（一个 session）中采集到的神经细胞活动，对基本视觉刺激类型进行（Drift gratings、Static gratings、Nature scenes 与 Nature movies）分类（分别在 Session 内部分类），比较三个脑区神经数据的分类准确性；

（2）请尝试分析一次实验中（Session A）小鼠注视 Drift gratings 时的神经细胞活动，根据 VISp、VISal、VISl 三个脑区的神经细胞活动分别解码光栅运动方向，比较三个脑区解码性能的差异。

3. （进阶任务）Modeling: Think like Hubel and Wiesel

Hubel 与 Wiesel 根据实验中观察到的两类细胞感受野特征，创造性地提出了 simple cell、complex cell 连接模型，启发了现代神经网络的发展。类似地，请发挥你的观察与想象力，总结你找到的细胞集群在各类任务中的发放特征，讨论不同神经细胞集群如何协同完成自然图像、视频的信息处理，提出一个计算模型，言之成理即可。

- （1） 请根据神经活动特征（分别在三个脑区）划分神经细胞集群，描述各个细胞集群的在图像和视频任务中的发放特征；（三个脑区分别有几个细胞集群细胞，这几群细胞在静止光栅、运动光栅，以及自然图像或视频中的发放特征分别是什么）；
- （2） 小鼠视觉皮层是否存在反馈通路（例如从 VISal 到 VISp）？请从数据中寻找证据进行论证。讨论来自三个不同脑区的几个细胞集群如何协同工作，以完成自然视频的信息处理。请绘制模型示意图，概述模型工作原理。

数据集说明：

1. 被动视觉任务双光子钙成像数据集基本介绍：

https://allensdk.readthedocs.io/en/latest/brain_observatory.html

2. 数据下载：

- a) 你可以选择下载清华云盘中的数据：

<https://cloud.tsinghua.edu.cn/d/1f159a183ff74c9580d8/>。包含小鼠进行 Drift gratings, Static gratings, Nature scenes, Nature movies 四类任务时候的 VISp, VISal, VISl 三个脑区的神经活动；

- b) 你也可以探索 allen brain 数据集，选择感兴趣的脑区数据进行分析。

为了下载数据，请安装 allensdk Python 库：

<https://allensdk.readthedocs.io/en/latest/install.html>

在探索数据集的过程中，你可以参考以下网站：

教程：

https://allensdk.readthedocs.io/en/latest/_static/examples/nb/brain_observatory.html#Experiment-Containers

教学视频：

<https://www.youtube.com/watch?v=UtbeF-Id5Ic&t=2275s>

<https://www.youtube.com/watch?v=UtbeF-Id5Ic&t=186s>

神经细胞的响应规律：

[https://observatory.brain-map.org/visualcoding/search/cell_list?tld1_name=Emx1-IRES-Cre&tldr1_name=Ai93\(TITL-GCaMP6f\)&sort_field=p_sg&sort_dir=asc](https://observatory.brain-map.org/visualcoding/search/cell_list?tld1_name=Emx1-IRES-Cre&tldr1_name=Ai93(TITL-GCaMP6f)&sort_field=p_sg&sort_dir=asc)

参考文献：

- [1] Siegle J H, Ledochowitsch P, Jia X, et al. Reconciling functional differences in populations of neurons recorded with two-photon imaging and electrophysiology[J]. Elife, 2021, 10: e69068.
- [2] de Vries S E J, Lecoq J A, Buice M A, et al. A large-scale standardized physiological survey reveals functional organization of the mouse visual cortex[J]. Nature neuroscience, 2020, 23(1): 138-151.
- [3] Siegle J H, Jia X, Durand S, et al. Survey of spiking in the mouse visual system reveals functional hierarchy[J]. Nature, 2021, 592(7852): 86-92.

答疑群二维码：

