

# 有意识的视觉、听觉、感觉和认知的统一神经理论

A Unified Neural Theory of Conscious Seeing, Hearing, Feeling,  
and Knowing

**Stephen Grossberg**

*Center for Adaptive Systems, Graduate Program in Cognitive and Neural Systems,*

*Departments of Mathematics & Statistics, Psychological &*

*Brain Sciences, and Biomedical Engineering, Boston University, Boston, MA USA*

accepted : 13 October 2020 by cognitive neuroscience

(translated by zang jie)

**摘要：**自适应共振理论不仅仅满足 ToC 的“严格标准”。

**关键词：**意识；自适应共振；神经网络；生物视觉；双眼竞争；伽马振荡；  
社会认知；精神错乱

## 硬性标准还是解释性科学理论？

Doerig、Schurger 和 Herzog 列出了“意识经验理论的硬标准”。他们的摘要指出，“已经提出了许多意识理论(ToCs)”，“本质上是多样化的”，表现出“缺乏详细说明经验数据如何约束 ToCs 的严格标准”。他们“从严格的经验角度审查了 13 个最具影响力的 ToC”和“他们的优势和劣势”。

列出“严格的标准”并不是发展心智和大脑理论的科学进展通常发生的方式。典型的人类具有视觉、听觉、感觉和认知的意识体验。一个多世纪以来，已经进行了数以千计的关于视觉和其他功能的心理和神经生物学实验。心理实验阐明了视觉刺激如何导致视觉感受器的有意识体验-包括感知的形式，颜色，亮度，深度和运动-以及意识丧失的时间。许多神经生物学实验将意识体验与大脑动力学联系起来。

为了理解这些数据，理论家们发现了体现在少数方程中的组织原则。在心智/大脑研究中，这些方程有助于定义模块或微电路，这些模块或微电路专门用于模态神经架构，其中“模态”代表生物智能的不同模态，包括视觉。具有意识的整合自我是可能的，因为它建立在模态架构内一组共享的语句和模块上，这些模态和模块可以无缝交互在一起以生成模仿意识心理体验的详细属性的涌现属性（Grossberg, 2017b）。

### **“ALL CONSCIOUS STATES ARE RESONANT STATES”**

Grossberg (1980)

**Surface-shroud resonances support conscious seeing  
of visual qualia**

**Feature-category resonances support conscious recognition  
of visual objects and scenes**

**Stream-shroud resonances support conscious hearing  
of auditory qualia**

**Spectral-pitch-and-timbre resonances support conscious  
recognition of sources in auditory streams**

**Item-list resonances support conscious recognition of  
speech and language**

**Cognitive-emotional resonances support conscious feelings  
and recognition of them**

图 1. 一些已知的意识共振及其心理功能。

基本方程式描述了短期记忆或 STM；中期记忆，或 MTM；Grossberg (1968, 1969) 中引入的长期记忆或 LTM；参见 Grossberg (2013b) 的评论。

在第 1 节中，Doerig 等人。写下“我们是否可以弥补解释性差距，或者出于原则原因不可能”。这一差距实际上在 40 年前开始缩小（Grossberg, 1980）。他们只提到了一些数据，并写道：“尽管存在大量关于意识体验的数据库，并且已经在此基础上进行了解释和模拟，但“过多的 ToC 仅仅反映了我们实验约束太少的事实”（第六节）。电脑多年。他们的约束不足的分析不能导致机械的理解。

## 所有的意识状态都是共振状态，但反之则不然

人类也有听觉、感觉和认知的有意识体验，庞大的跨学科数据库对它们进行了描述。在所有这些领域，跨学科的计算神经理论被称为自适应共振理论，或 ART，将脑机制与其突现的或交互的、体现心理作用和意识体验的特性联系起来。ART 展示了自适应共振如何使我们能够意识到所有这些类型的体验，同时将它们结合在一起形成统一意识的连贯时刻。ART 对 Doerig 等人提到的所有问题和数据提供了详细的机械解释，如下所示。

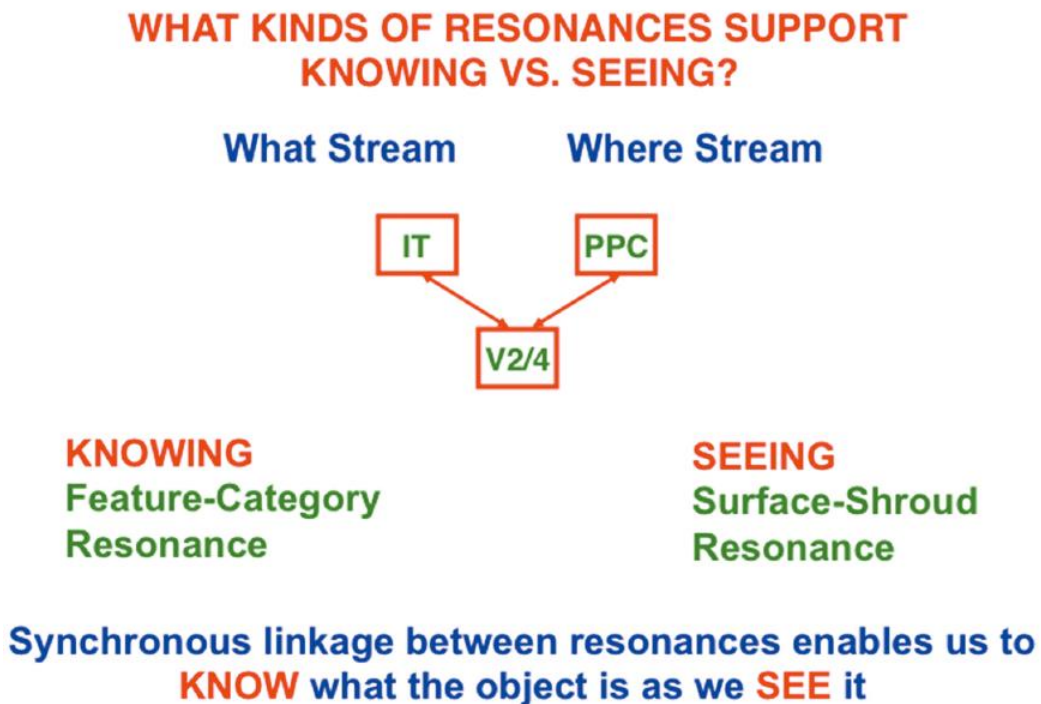


图 2. 看到和知道。支持有意识的观看的表面遮罩共振和支持有意识的认识或识别的特征类别共振可以同时发生，并由桥接 What 和 Where 皮层流的同步共振支持。[经 Grossberg (2017b) 许可改编。]。

自从 Grossberg (1976) 提出 ART 来解释和预测人类如何学会在不断变化的世界中参与、识别和预测物体和事件以来，ART 一直在逐步发展。ART 并不是用来解释意识的。但是，随着其统一的解释变得越来越成熟，很明显“所有有意识的状态都是共振状态，而不是相反的状态”。有关最近的评论，请参阅 Grossberg (2013a、2017b、2018、2020、2021)。有关支持不同意识体验的共振摘要，请参见图 1。

## 一个思想实验表明 ART 解决了一个普遍的纠错问题

ART 设计原则和机制可以从提出以下问题的思想实验中得出：如果没有单个细胞知道已经发生了编码错误，如何在不断变化的世界中纠正编码错误 (Grossberg, 1980)?

仅使用熟悉的环境事实作为假设，思想实验的每一步都被转化为仅具有本地计算量的实时自主运行的过程。因此，当以自组织方式克服对增量知识发现的熟悉环境约束时，ART 电路自然会成为在不断变化的世界中纠正错误的通用解决方案。

## 无意识的共振

无意识的共振状态包括顶叶——前额叶共振，触发基底神经节门的选择性打开，以读取背景适当的想法和行为 (Brown 等, 2004; Buschman & Miller, 2007; Grossberg, 2016b) 和在空间导航过程中动态稳定内嗅网格细胞和海马位置细胞学习的内嗅-海马共振 (Grossberg & Pilly, 2014; Kentros 等, 2004; Morris & Frey, 1997)。这些共振不包括由外部感官 (例如支持视觉或听觉的感官) 或内部感官 (例如支持情感的感官) 激活的特征检测器。

## 为什么进化会发现意识？看到是为了获得

进化可能已经发现了意识状态，因为多个处理阶段执行三个功能不同的“不确定性分层解决”过程，以构建足够完整、上下文敏感且稳定以控制有效行为的大脑表征 (Grossberg, 2017b)。视网膜上的视觉表现是嘈杂和不完整的。例如，大盲点和视网膜静脉阻止了视网膜在其位置处记录的连接对象的处理。边界完成和表面填充的多个阶段完成了视网膜表示。

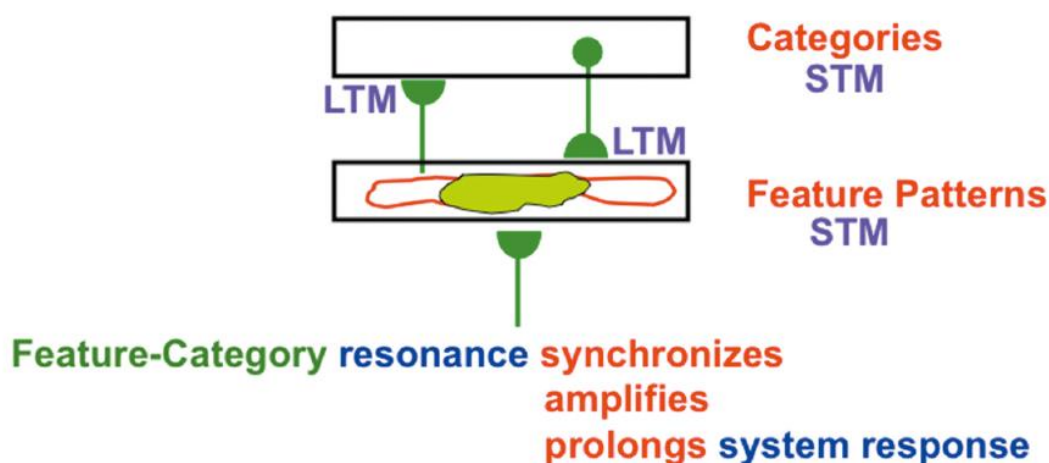
我们的大脑如何选择足够完整的视觉表征来控制动作？我的回答是，大脑共振及其有意识的意识在完整的表征阶段被触发，以避免在早期处理阶段基于不完整表征的行为可能发生的灾难性后果。例如，我们有意识地看到，以便基于发生

在皮层区域 V4 和后顶叶皮层(PPC)之间的表面罩共振(图2)来观察和到达。选定的 V4 表示通过 PPC 参与对象以采取行动(Grossberg, 2017b, 2019)。我们使用特征类别共振 V4 和下颞叶皮层(IT)有意识地识别我们所看到的; 参见图3。当我们看到并了解熟悉的物体时, 这两个共振会同步。

## ADAPTIVE RESONANCE

Attended feature clusters reactivate bottom-up pathways

Activated categories reactivate their top-down pathways



Resonance triggers learning in bottom-up and top-down adaptive weights: *adaptive resonance!*

图 3. 在特征类别共振期间, 自下而上的输入模式激活特征选择单元的分布式模式, 这些模式将自下而上的信号发送到类别编码级别。 这些自下而上的信号乘以通过学习调整的自适应权重或长期记忆 (LTM) 轨迹。 激活的类别读出自上而下的期望。 这些自上而下的信号也乘以 LTM 迹线。 这些期望有助于将注意力集中在预期的线索组合上, 称为关键特征模式, 控制学习和行动。 如果自上而下的期望与当前活跃的自下而上的特征模式之间发生足够好的匹配, 那么他们之间就会通过自下而上和自上而下的兴奋通路开始形成特征类别共振。 这种共振支持有意识地识别由关注的特征模式表示的对象。 [经 Grossberg 许可转载 (2019) ]。

## 使用 ART 解释精神障碍

由于解剖学损伤或神经调节器功能不正常, 共振可能失败或退化。ART 提供了心理症状的神经解释和关于意识如何在阿尔茨海默病、自闭症、健忘症、脆性 X 综合征和忽视等精神疾病期间改变的神经生物学数据, 包括乙酰胆碱神经调节在调节警惕性方面的关键作用认知学习、注意力和意识的发生 (Franklin &

Grossberg, 2017; Grossberg, 2017a, 2017b; Grossberg & Kishnan, 2018; Grossberg & Seidman, 2006)。

## 竞争、变化盲目、拥挤、注意眨眼和 Hermann 网格

多里格等人。提到几种视觉现象，特别是本节标题中的那些，所有这些都可以通过预处理视觉输入的模型视觉皮层过程与支持有意识地看到它们的表面罩共振之间的相互作用来解释；例如，双眼竞争和单峰视觉感知（Grossberg 等，2008）；改变失明、运动引起的失明、掩蔽和注意眨眼（Grossberg, 2017b）；拥挤（Foley 等，2012）；和 Hermann 网格（Grossberg 和 Todorovic，1988 年）。还以统一的方式解释了许多额外的视觉感知；见 [sites.bu.edu/steveg](http://sites.bu.edu/steveg)。

## 皮质同步、伽马和贝塔振荡以及清醒和睡眠

作者在第 IV.4.a 节中提到了伽马振荡。在尖峰层流丘脑皮质 ART 模型中，在自下而上和自上而下信号之间足够好的匹配期间会出现更快的伽马振荡，如在特征类别共振期间，而足够大的失配会导致较慢的 beta 振荡（Grossberg 和 Versace，2008 年），该预测得到了随后对 V1、V4 和海马体的神经生理学实验的支持。

ART 阐明了大脑如何在清醒和睡眠之间切换，并解释了向上和向下睡眠状态（Grossberg，2017a）。

## 视线方向与社会认知

凝视方向如何使我们能够“推断他人的心理状态并预测他们的行为”（第 IV.4.b 节）通过联合注意力如何支持社会认知过程中的目标导向、范围和工具使用来解释（Grossberg，2010）。

## 展开和大小网络

作者指出，“任何功能都可以由不同的物理系统实现”（第 III.4 节）。然而，如此丰富的功能复用组合却无法实现。事实上，ART 独特地遵循了一个关于在不断变化的世界中关于纠错的普遍问题的思想实验（Grossberg，1980）。

在功能上将意识、学习、期望、注意力、共鸣和同步联系起来的 ART 反馈电路——CLEARs 过程——不能展开成一个前馈网络（Grossberg，2019）。

将 ART 等生物神经模型分类为小或大是没有帮助的，因为为了解释我们为什么有意识，ART 的多个处理阶段以特定顺序执行“不确定性的分层解决方案”。

## 披露声明

作者没有报告潜在的利益冲突。

## 参考文献

- [1] Afraimovich V, Zhigulin V, Rabinovich M. On the origin of reproducible sequential activity in neural circuits. *Chaos* 14: 1123 – 1129, 2004.
- [2] Brown, J. W., Bullock, D., & Grossberg, S. (2004). How laminar frontal cortex and basal ganglia circuits interact to control planned and reactive saccades. *Neural Networks*, 17(4), 471–510. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2003.08.006>
- [3] Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(5820), 1860–1862. <https://doi.org/10.1126/science.1138071>
- [4] Foley, N. C., Grossberg, S., & Mingolla, E. (2012). Neural dynamics of object-based multifocal visual spatial attention and priming: Object cueing, useful-field-of-view, and crowding. *Cognitive Psychology*, 65(1), 77–117. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2012.02.001>
- [5] Franklin, D. J., & Grossberg, S. (2017). A neural model of normal and abnormal learning and memory consolidation: Adaptively timed conditioning, hippocampus, amnesia, neurotrophins, and consciousness. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 17, 24–76.
- [6] Grossberg, S. (1968). Some physiological and biochemical consequences of psychological postulates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 60, 758–765.
- [7] Grossberg, S. (1969). On the production and release of chemical transmitters and related topics in cellular control. *Journal of Theoretical Biology*, 22(2), 325–364. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(69\)90009-5](https://doi.org/10.1016/0022-5193(69)90009-5)
- [8] Grossberg, S. (1976). Adaptive pattern classification and universal recoding, II: Feedback, expectation, olfaction, and illusions. *Biological Cybernetics*, 23, 187–202.
- [9] Grossberg, S. (1980). How does a brain build a cognitive code? *Psychological Review*, 87(1), 1–51. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.1.1>
- [10] Grossberg, S. (2013a). Adaptive resonance theory: How a brain learns to consciously attend, learn, and recognize a changing world. *Neural Networks*, 37, 1–47. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.09.017>

- [11] Grossberg, S. (2013b). Recurrent neural networks. *Scholarpedia*, 8(2), 1888. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1888>
- Grossberg, S. (2016a). Cortical dynamics of figure-ground separation in response to 2D pictures and 3D scenes: How V2 combines border ownership, stereoscopic cues, and gestalt grouping rules. *Frontiers in Psychology*, 6. 26 January 2016. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.02054/full>
- [12] Grossberg, S. (2016b). Neural dynamics of the basal ganglia during perceptual, cognitive, and motor learning and gating. In -J.-J. Soghomonian (Ed.), *The basal ganglia: Novel perspectives on motor and cognitive functions* (pp. 457–512). Springer.
- [13] Grossberg, S. (2017a). Acetylcholine neuromodulation in normal and abnormal learning and memory: Vigilance control in waking, sleep, autism, amnesia, and Alzheimer's disease. *Frontiers in Neural Circuits*, 11. November 2, 2017. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncir.2017.00082/full>
- [14] Grossberg, S. (2017b). Towards solving the hard problem of consciousness: The varieties of brain resonances and the conscious experiences that they support. *Neural Networks*, 87, 38–95. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.11.003>
- [15] Grossberg, S. (2019). The resonant brain: How attentive conscious seeing regulates action sequences that interact with attentive cognitive learning, recognition, and prediction. *Attention, Perception & Psychophysics*, 81(7), 2237–2264. Published online: June 19, 2019 <https://link.springer.com/article/10.3758/s13414-019-01789-2>
- [16] Grossberg, S. (2021). *Conscious Mind/Resonant Brain: How Each Brain Makes a Mind*. New York: Oxford University Press.
- Grossberg, S., & Kishnan, D. (2018). Neural dynamics of autistic repetitive behaviors and Fragile X syndrome: Basal ganglia movement gating and mGluR-modulated adaptively timed learning. *Frontiers in Psychology, Psychopathology*, 9.
- [17] Grossberg, S., & Seidman, D. (2006). Neural dynamics of autistic behaviors: Cognitive, emotional, and timing substrates. *Psychological Review*, 113(3), 483–525. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.113.3.483>
- [18] Grossberg, S. and Todorovic, D. (1988). Neural dynamics of 1-D and 2-D brightness perception: A unified model of classical and recent phenomena. *Perception & Psychophysics*, 43, 241–277.
- [19] Grossberg, S., & Versace, M. (2008). Spikes, synchrony, and attentive learning by laminar thalamocortical circuits. *Brain Research*, 1218, 278–312. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.04.024>



[20] Grossberg, S., & Vladusich, T. (2010). How do children learn to follow gaze, share joint attention, imitate their teachers, and use tools during social interactions? *Neural Networks*, 23(8–9), 940–965. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2010.07.011>

[21] Grossberg, S., Yazdanbakhsh, A., Cao, Y., & Swaminathan, G. (2008). How does binocular rivalry emerge from cortical mechanisms of 3-D vision? *Vision Research*, 48(21), 2232–2250. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.06.024>

[22] Kentros, C. G., Agnietri, N. T., Streater, S., Hawkins, R. D., & Kandel, E. R. (2004). Increased attention to spatial context increases both place field stability and spatial memory. *Neuron*, 42(2), 283–295. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00192-8)

[23] Morris, R. G. M., & Frey, U. (1997). Hippocampal synaptic plasticity: Role in spatial learning or the automatic recording of attended experience? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 360, 1469–1503.