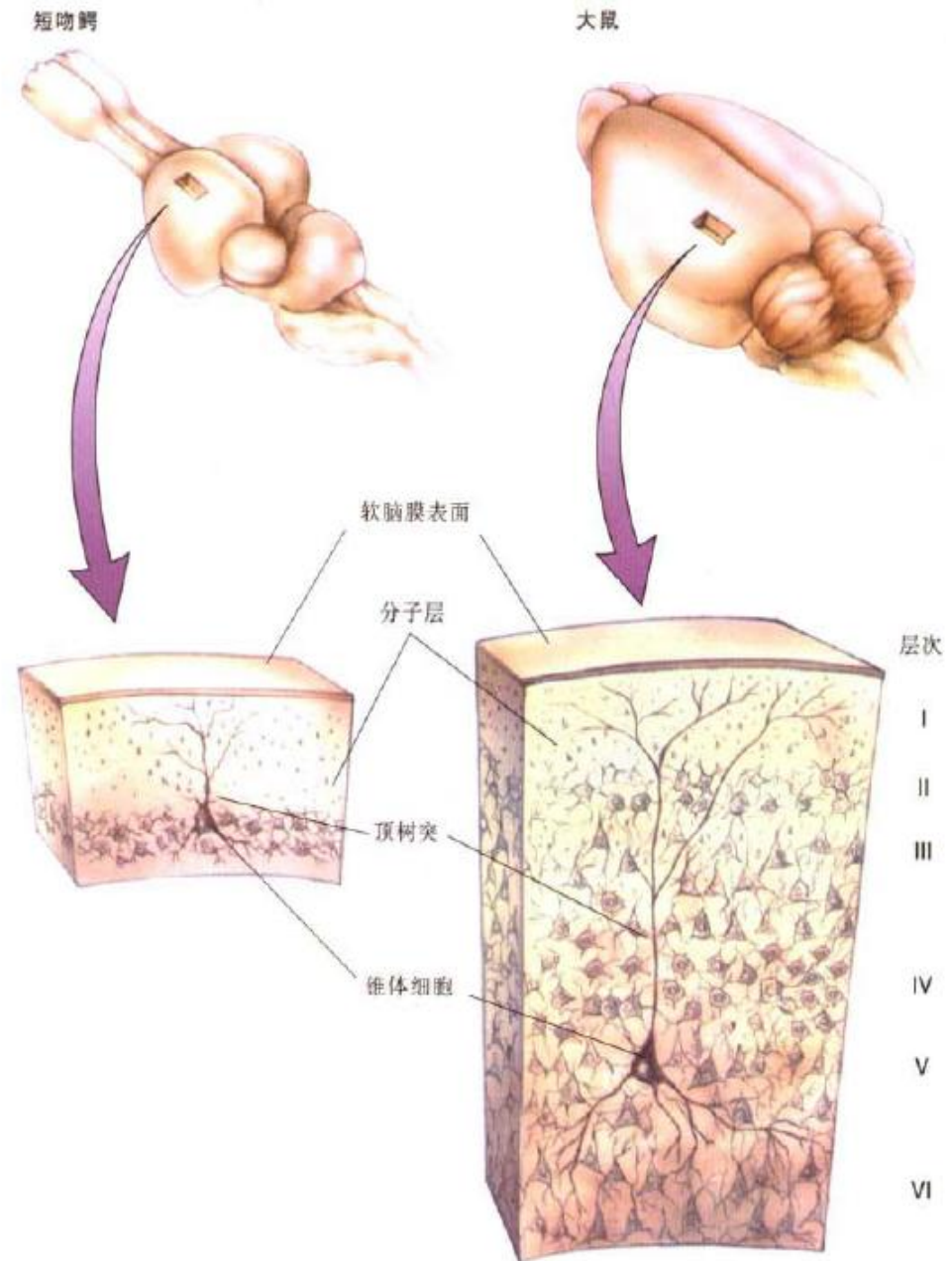


- 自然图像的统计特性和视网膜神经元的计算模型
- 脑皮层的层次结构和Hierarchical Temporal Memory
- Boltzmann机器学习算法和脑的统计热力学模型

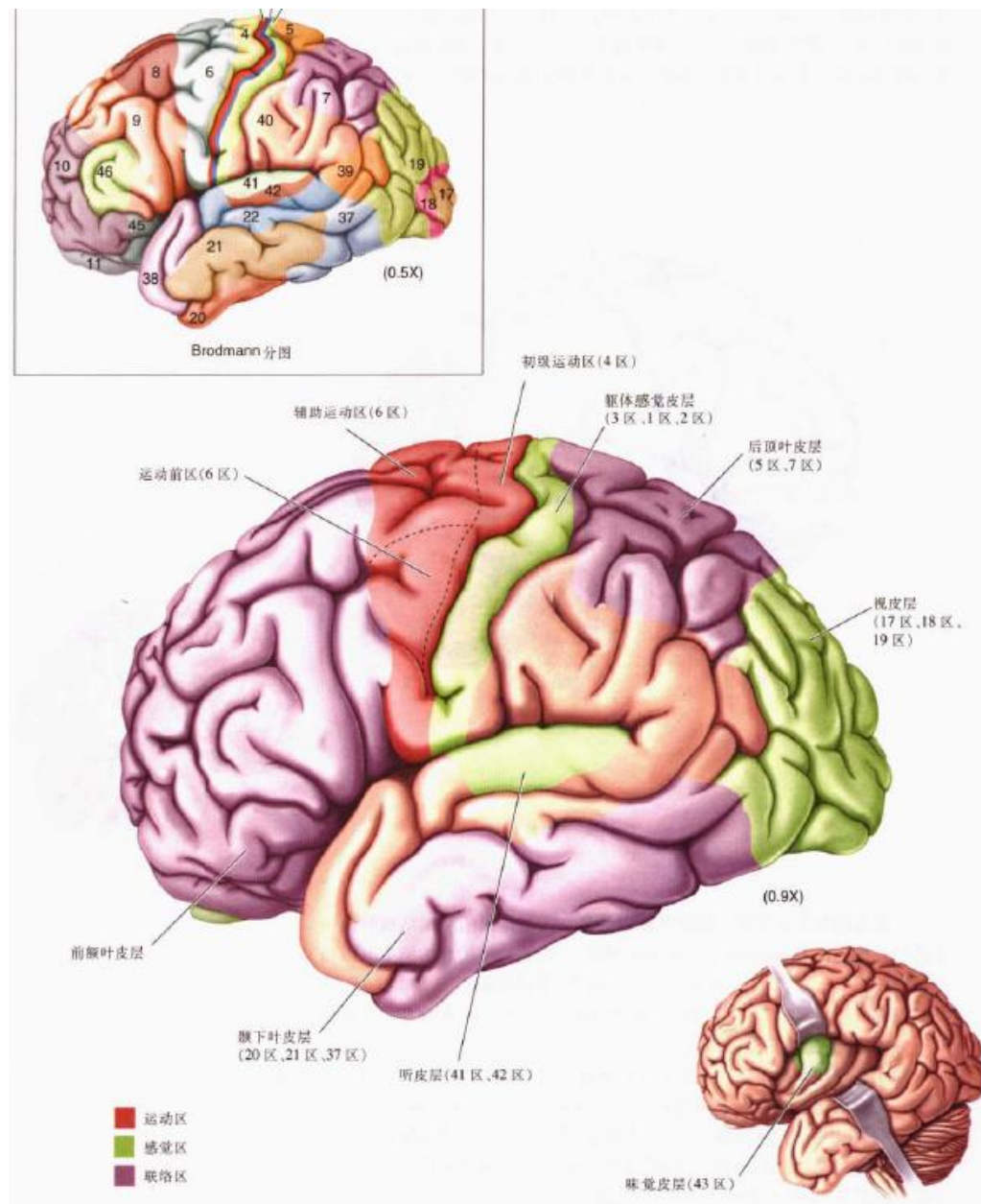
新皮层生理

- 大脑皮层中最晚进化出的部分
- 特有的6层结构，在所有哺乳动物的大脑中发现
- 大脑中与**智能有关的最主要部分**（另外两个部分：丘脑和海马）
- 厚度：6张扑克牌
- 面积
 - 人：1张餐巾
 - 猴子：1个信封
 - 老鼠：1张邮票



新皮层分区和 层级结构

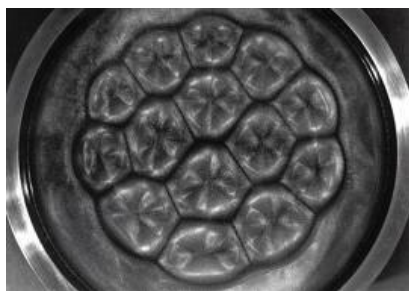
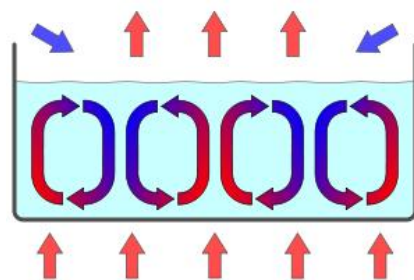
- 分区之间的层次关系
 - 例如，视觉腹侧通路：Retina -> LGN -> V1 -> V2 -> V4 -> IT
 - 层次关系通过分区间的正向和反向连接体现



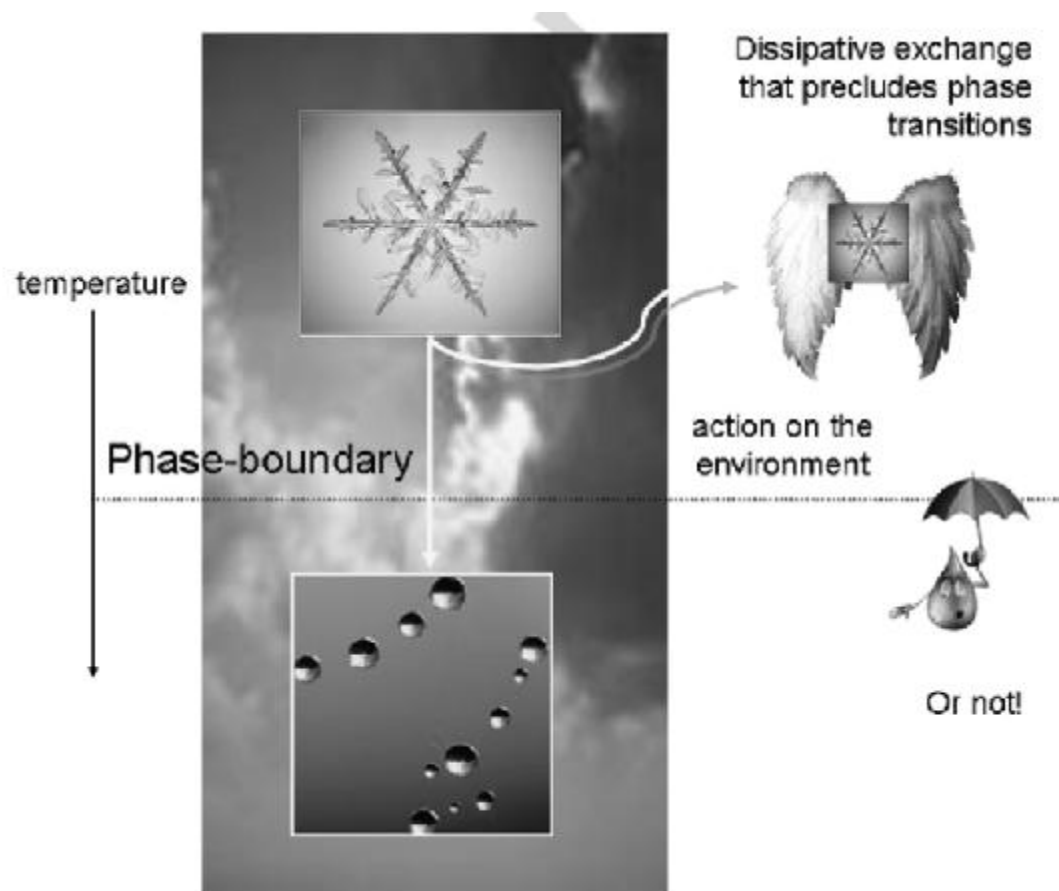
关于新皮层的猜想

- 新皮层的结构在不同区域、不同物种之间，存在高度相似性
 - 层数相同、神经元种类和分布相同、连接方式相同
- 结构相似导致功能相似
 - 将初生雪雕的视觉信号连接到听觉发育区，听觉区发育为视觉区
 - 先天性盲人阅读盲文时，激活的是视觉区
- 猜想（美国神经科学家Montcastle于1978年提出）
 - 新皮层的功能区域的信息处理都遵循一个共同的算法，视觉、听觉、运动输出等之间没有任何差异

耗散结构和生命体的区别



Benard花纹



生物体通过与环境交互，将自己限定在特定的生态位中，维持自身的稳定结构。

脑的最基本功能是什么？

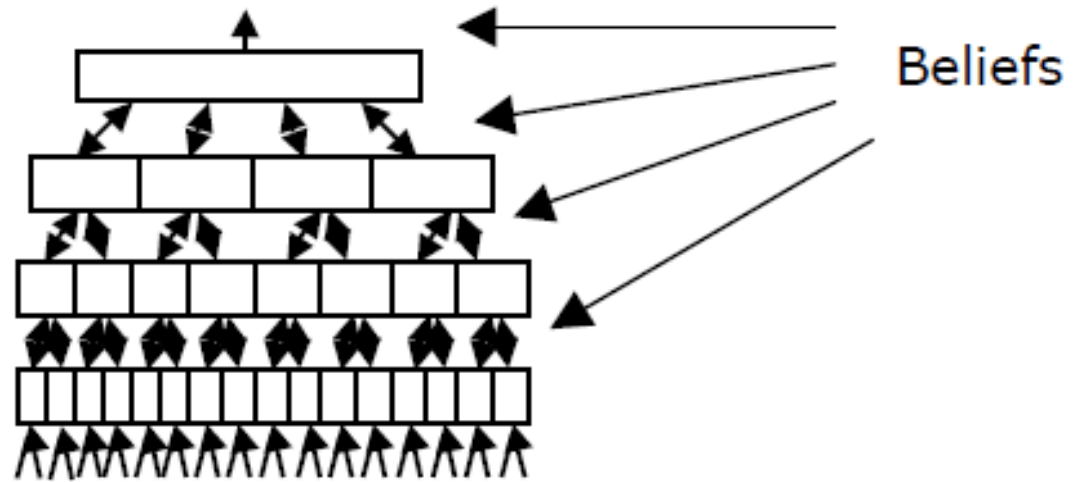
- 避免surprise
 - Surprise对生命体通常意味着死亡
e.g., fish out of water
 - 通过避免surprising state（减少熵），维持自身的存活（稳定状态）
 - Surprise是相对的
- 手段
 - 记忆、推断、预测
 - 指导行动

新皮层的功能

- 记忆
 - 推断
 - 预测
-
- 通过记忆基础上的推断和预测来减少 surprise。

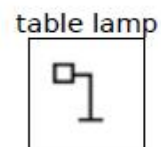
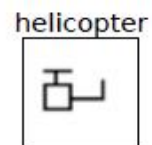
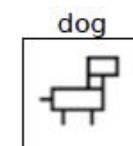
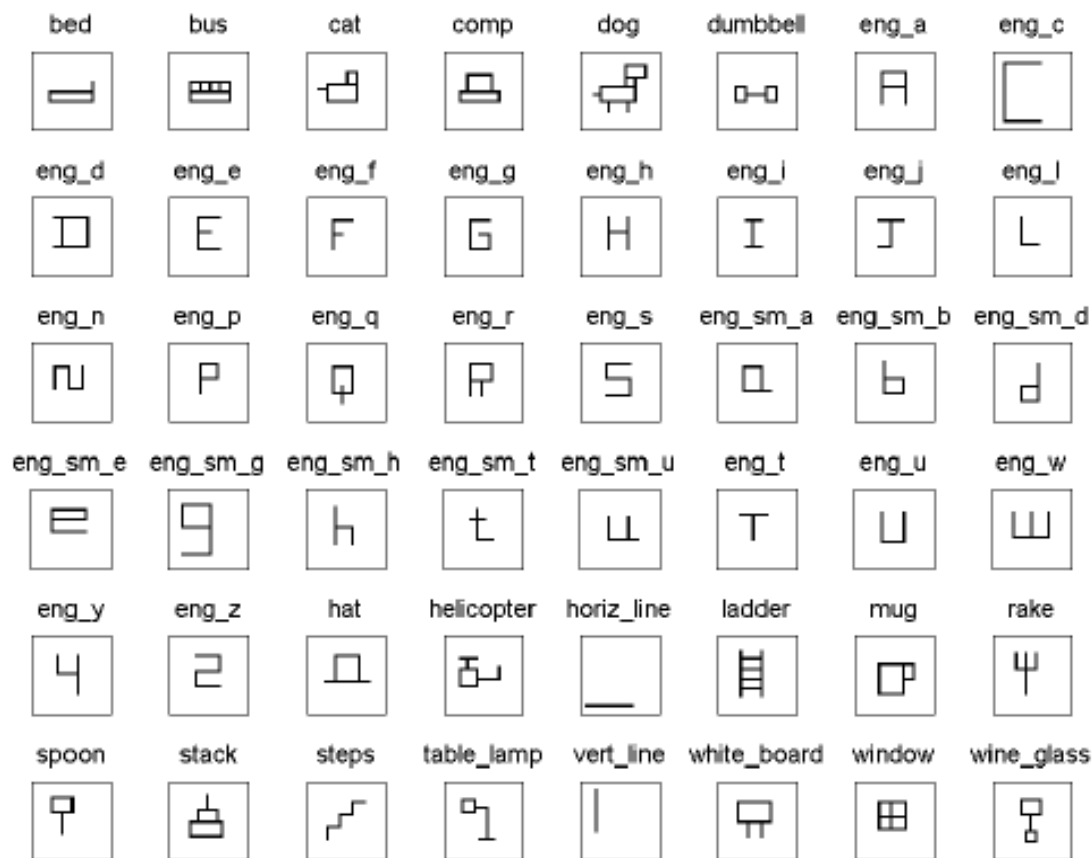
怎样完成推断和预测？ HTM层级结构

- 每个结点的功能
 - 识别模式
 - 记忆模式序列
 - 向上级传递信念
 - 向下级反馈预测
- 在“我们”看来

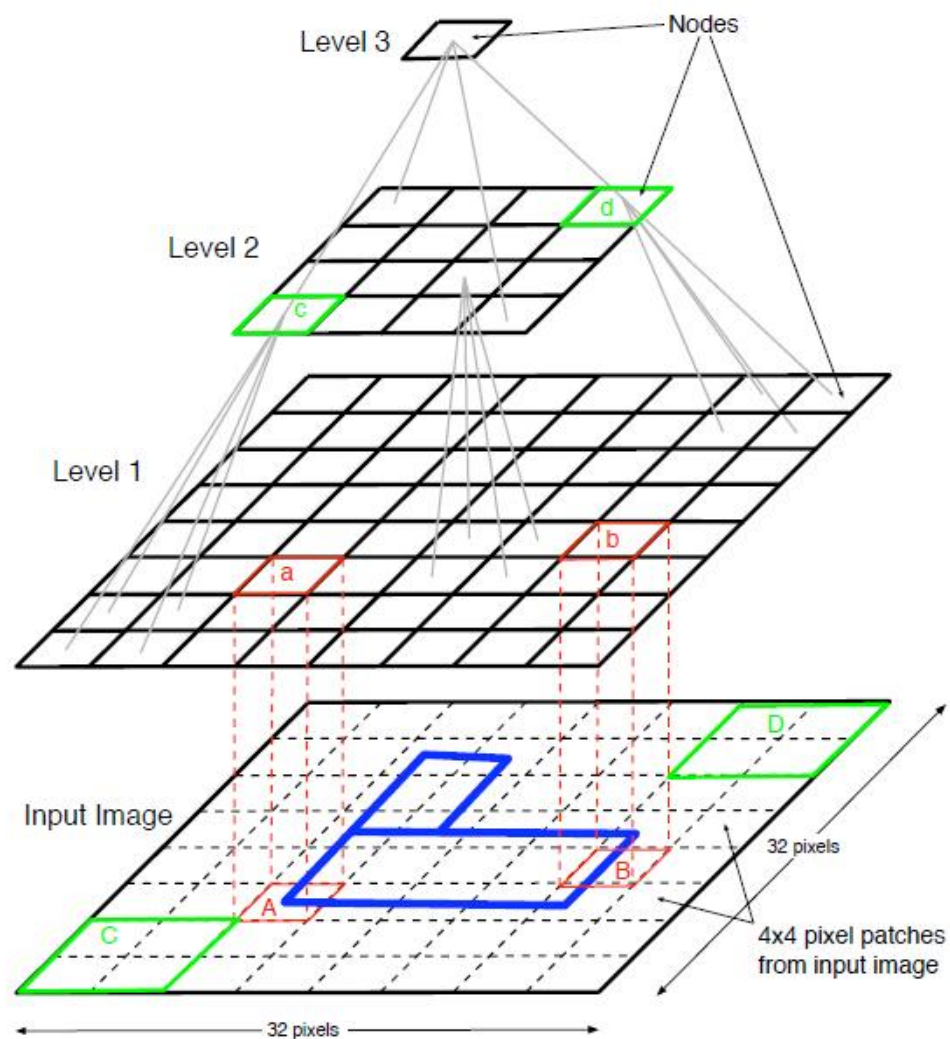
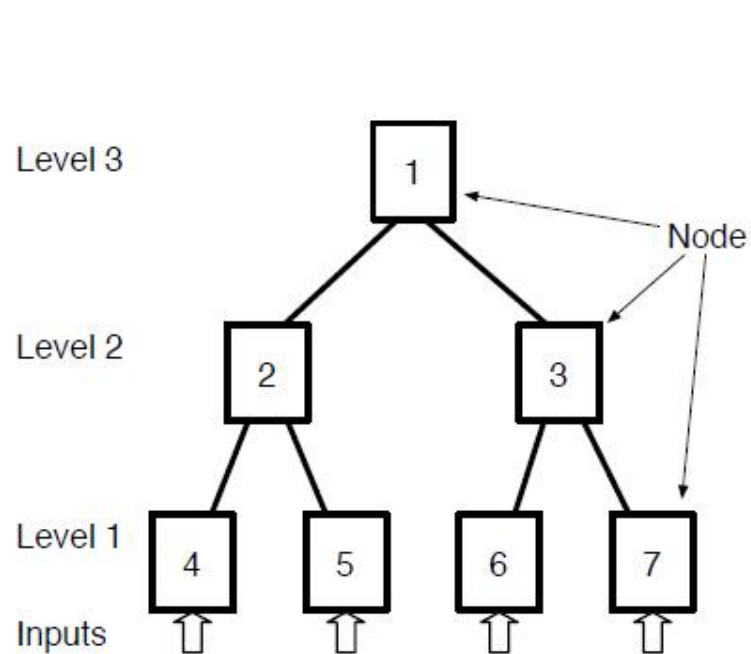


- 底层结点：记忆短暂时间序列，推断简单原因
 - 上层结点：记忆长期时间序列、推断复杂原因
- 在“结点自己”看来
 - 我不知道自己的身份、地位，不知道输入数据的类型、来源，只管做同样的工作

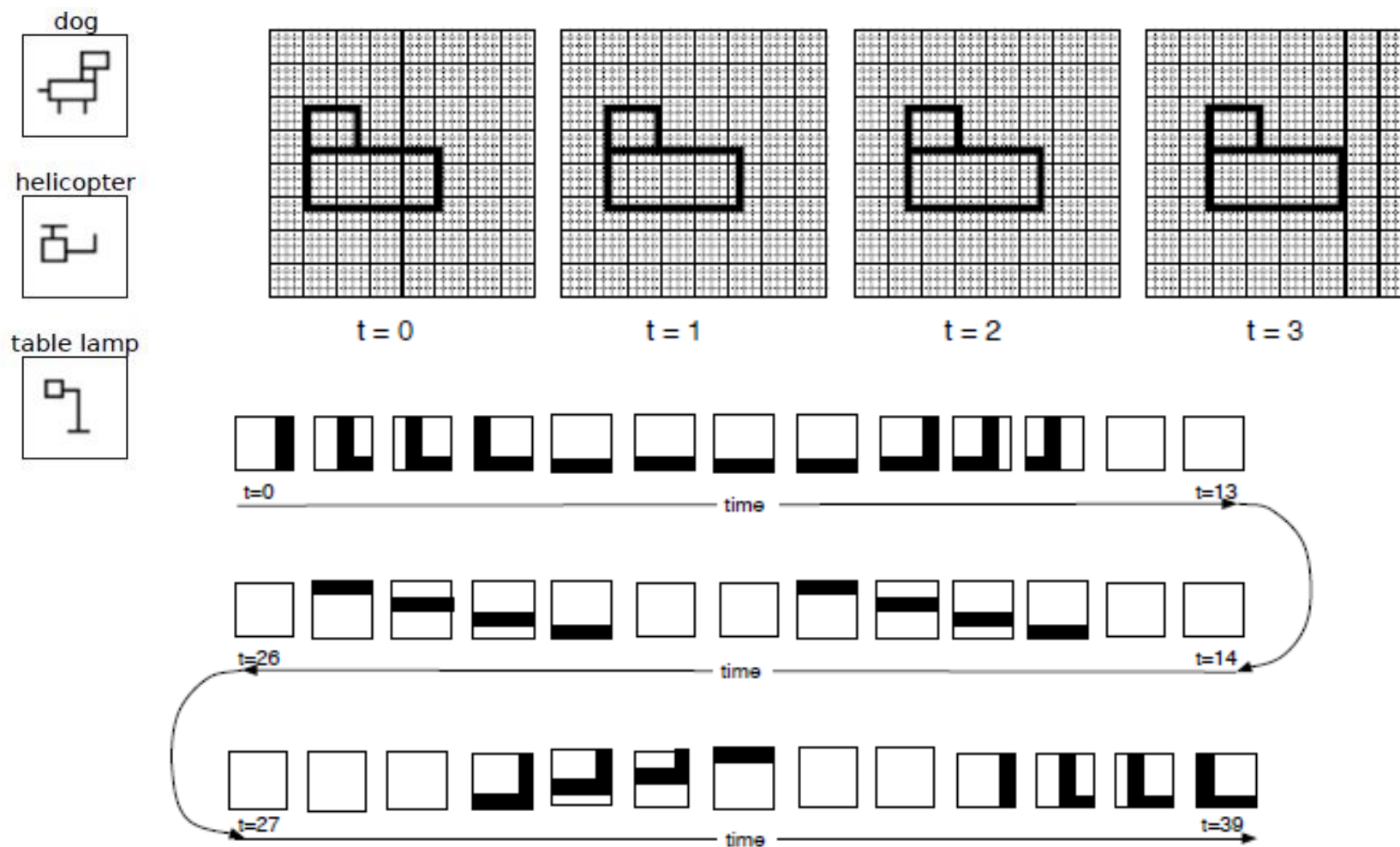
HTM工作原理实例：看图识物



HTM网络结构

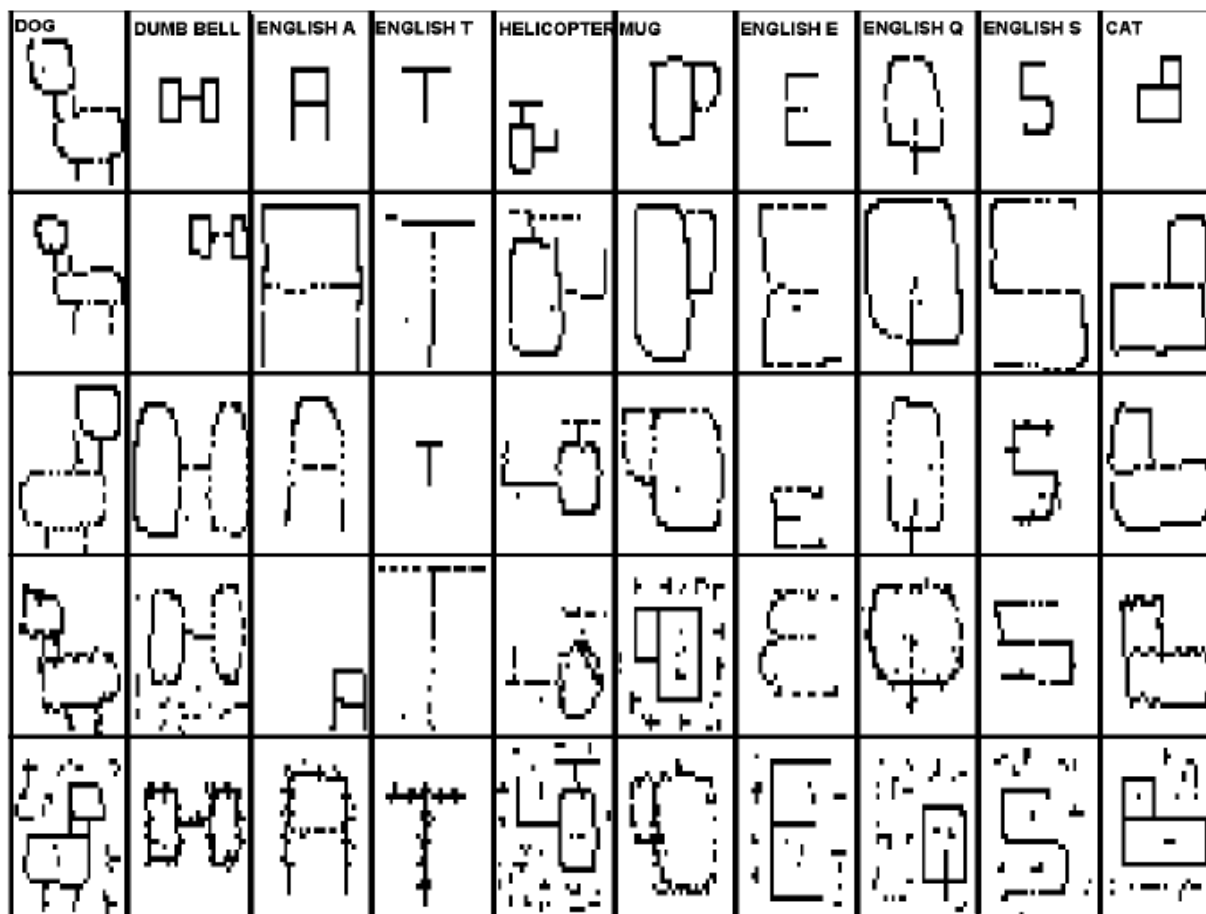


训练方法：给HTM网络看电影



顶层结点连接到一个有监督分类器，相当于海马

测试集

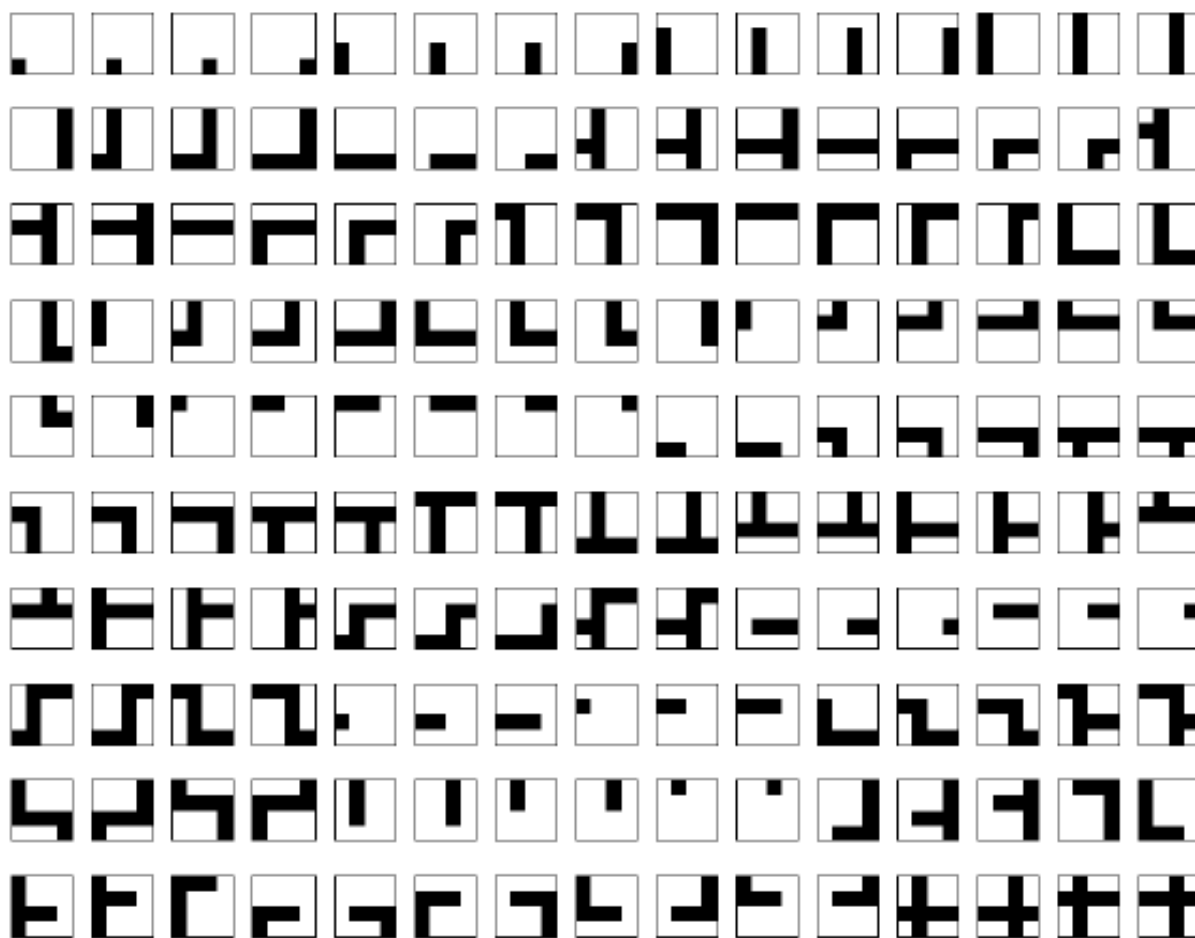
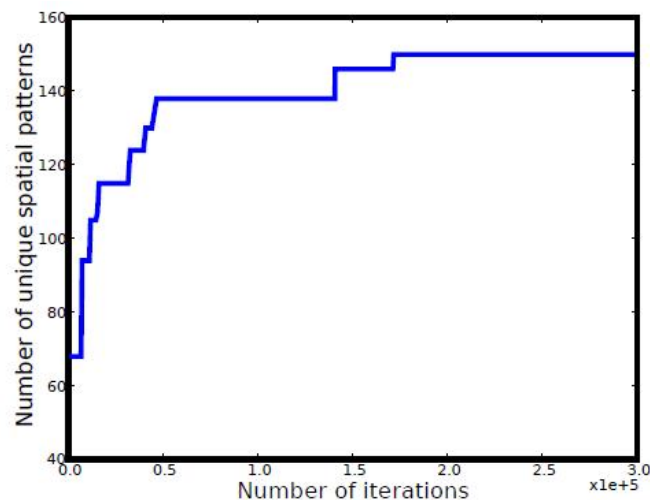


单个结点的操作

- 学习阶段
 - 观察输入模式，建立内部表示，没有输出
 - 又分为记忆模式、学习转移概率、时间聚合三个子阶段
- 感知/推断阶段
 - 对每个输入模式产生输出表示信念

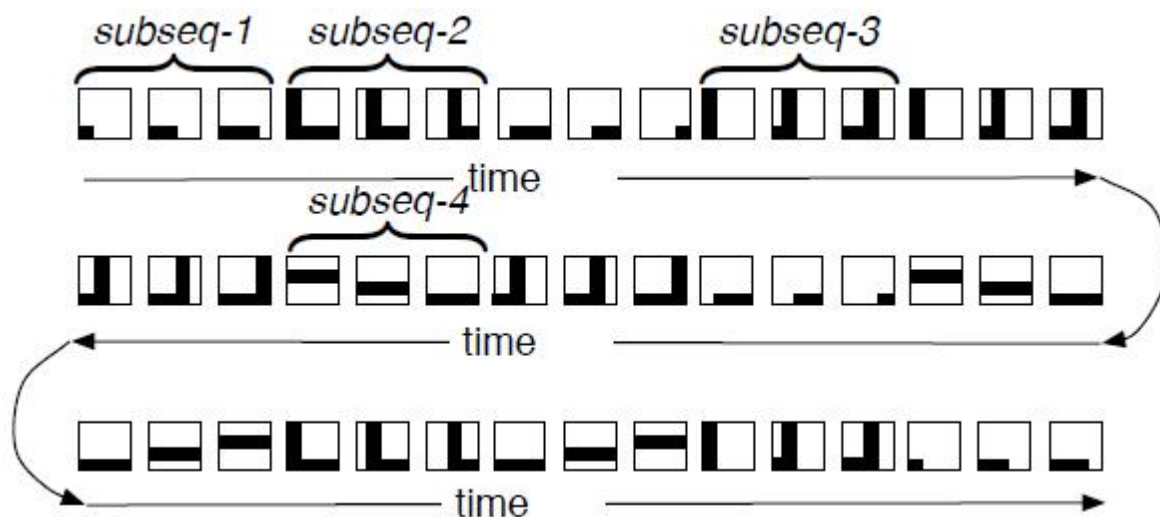
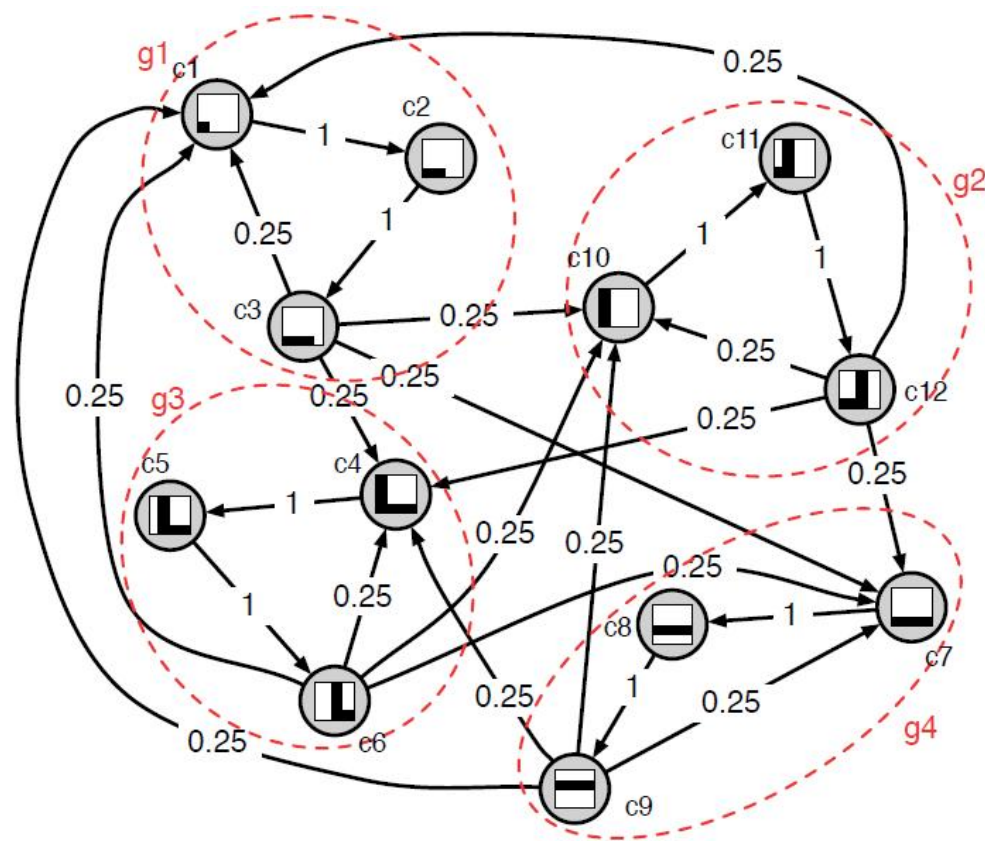
学习阶段1：记忆模式

- 建立记忆持久存储看到的模式，并给每个模式编号
- 把感受野中出现的模式和模式库比较，如果不在，则加到模式库中



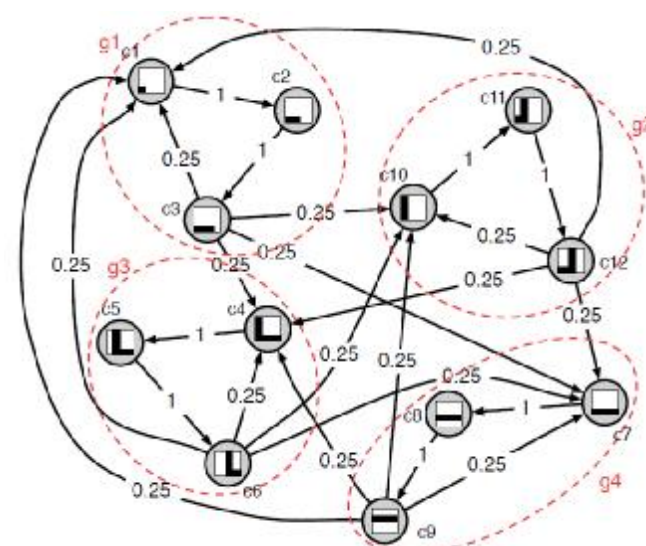
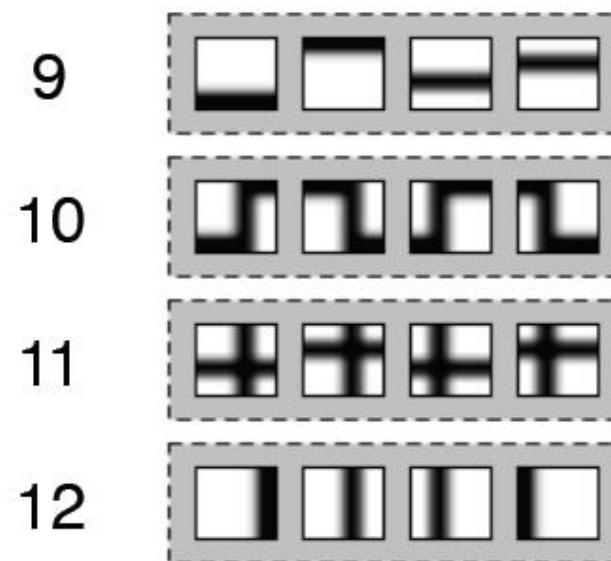
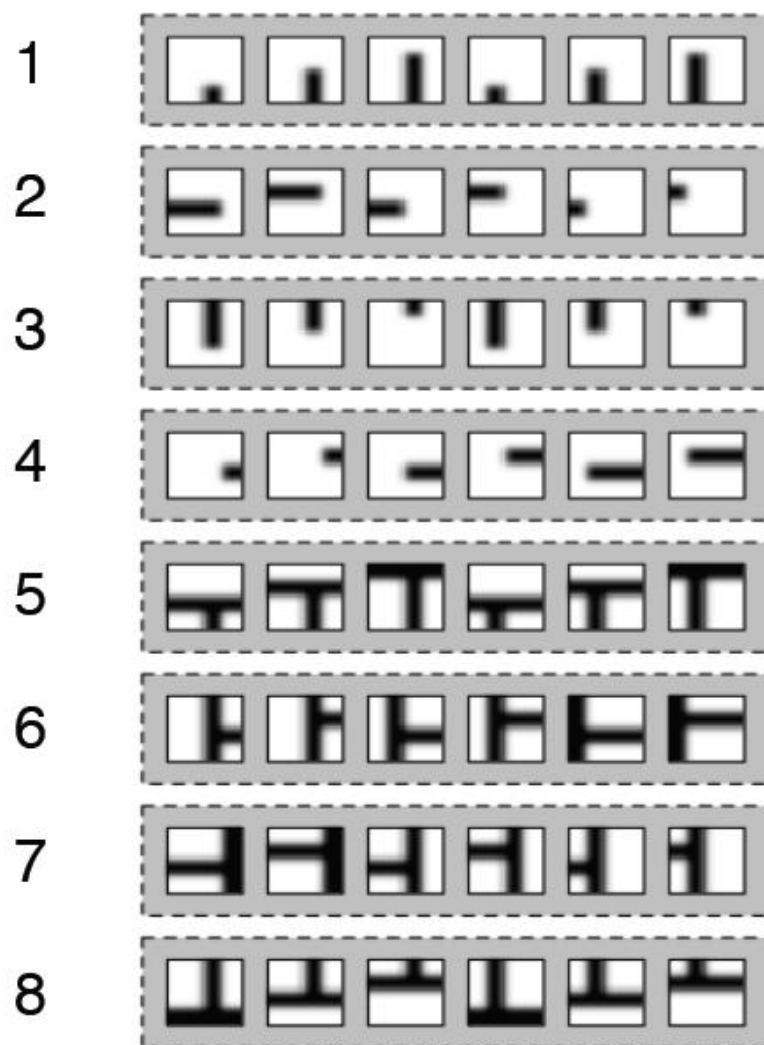
学习阶段2: 学习转移概率

- 建立并维护表示模式转移的马尔科夫图

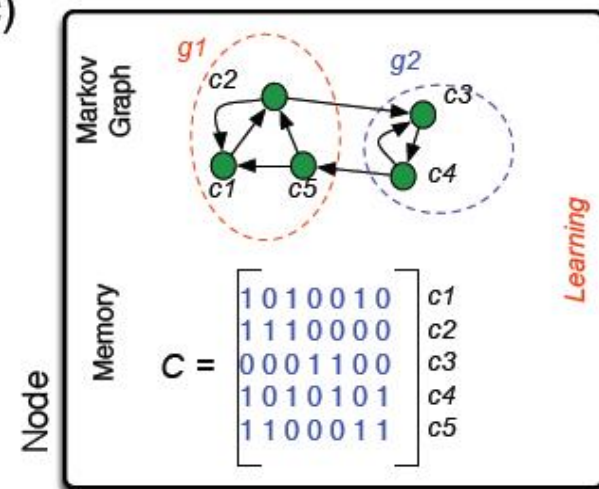
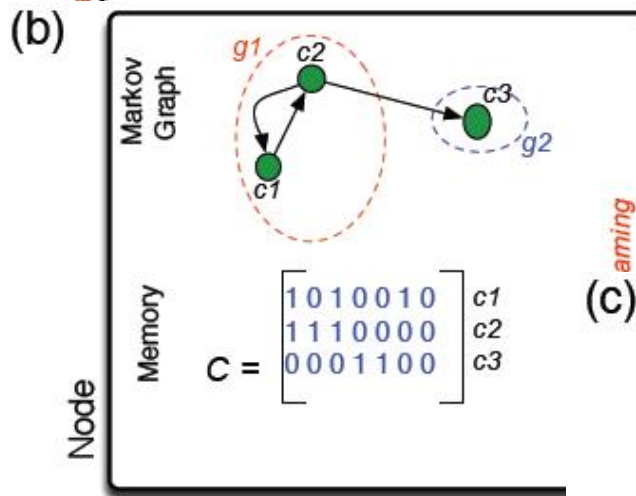
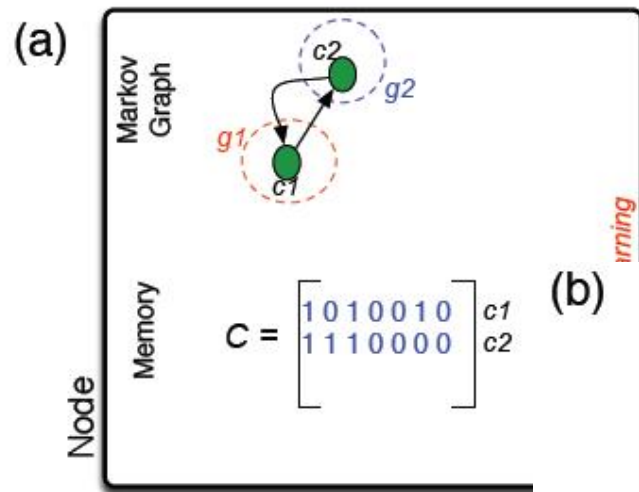


学习阶段3：时间聚合

根据马尔科夫图将模式聚合为序列

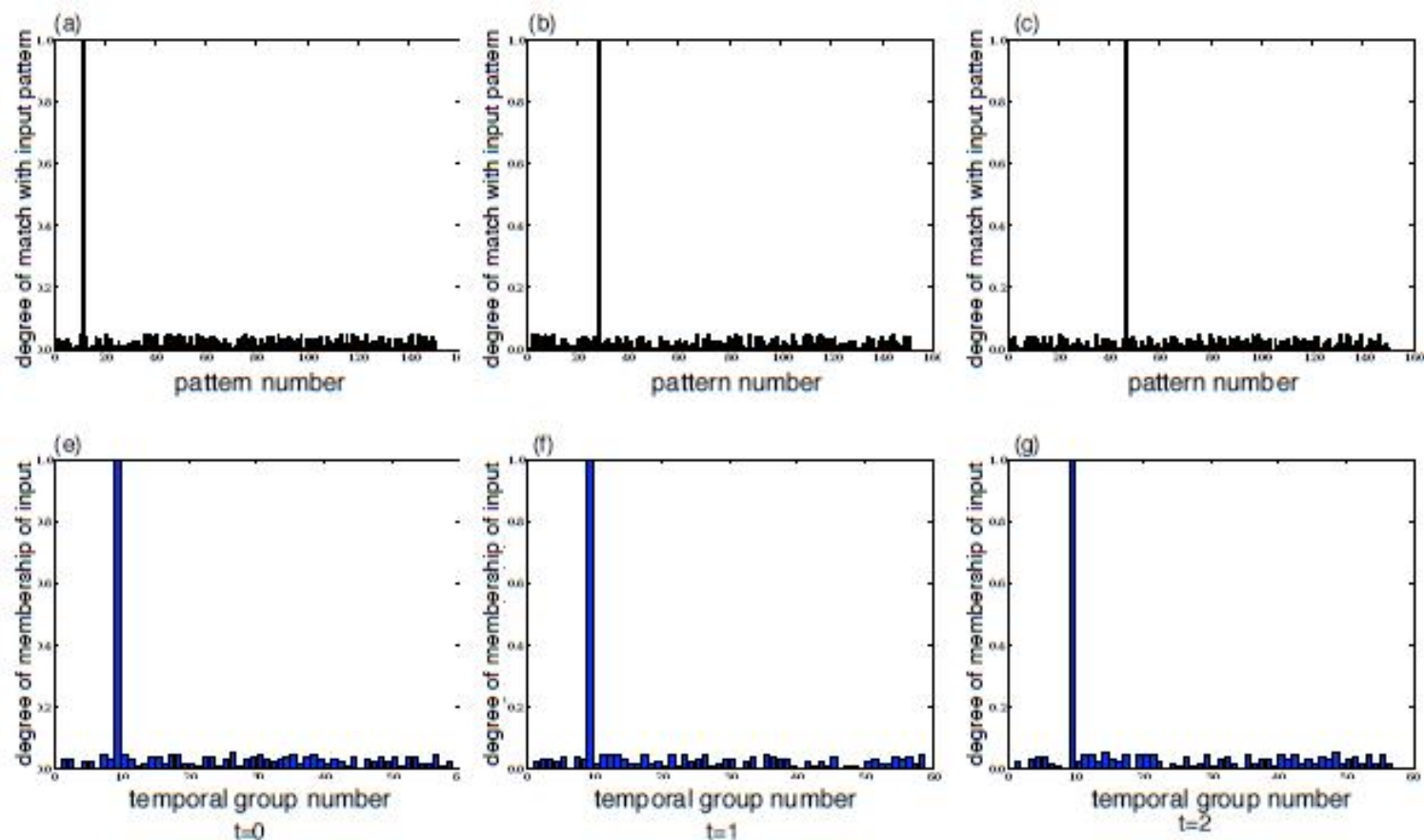
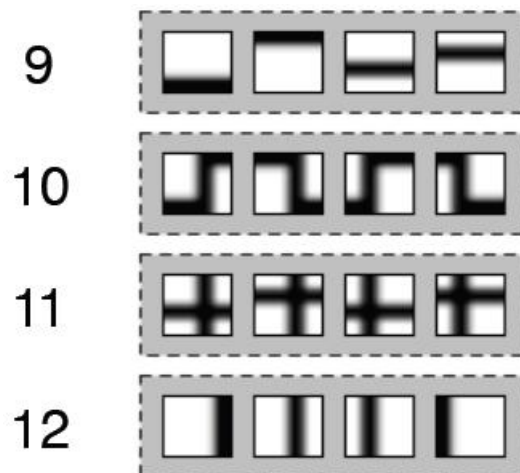


学习阶段全过程

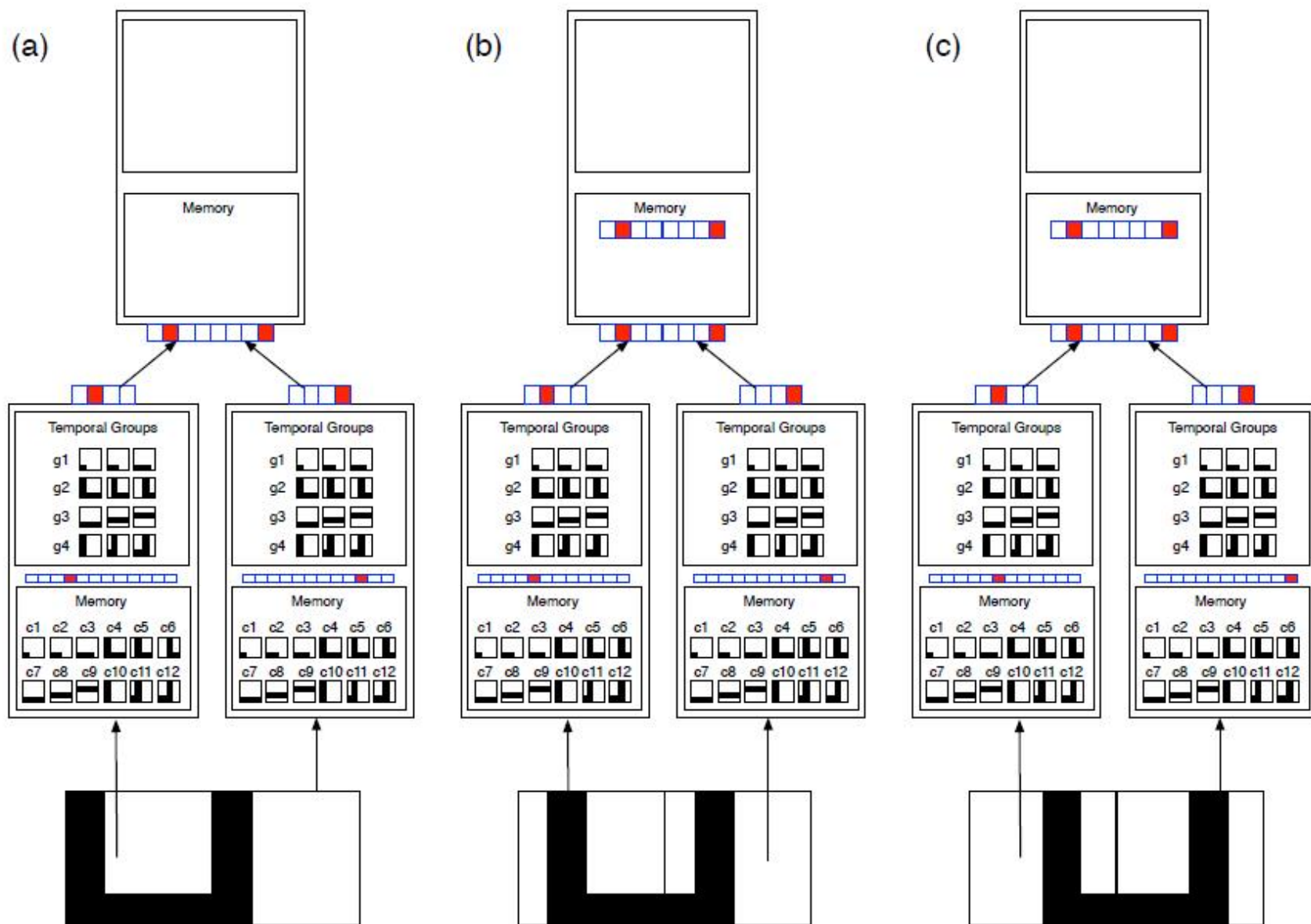


推理阶段

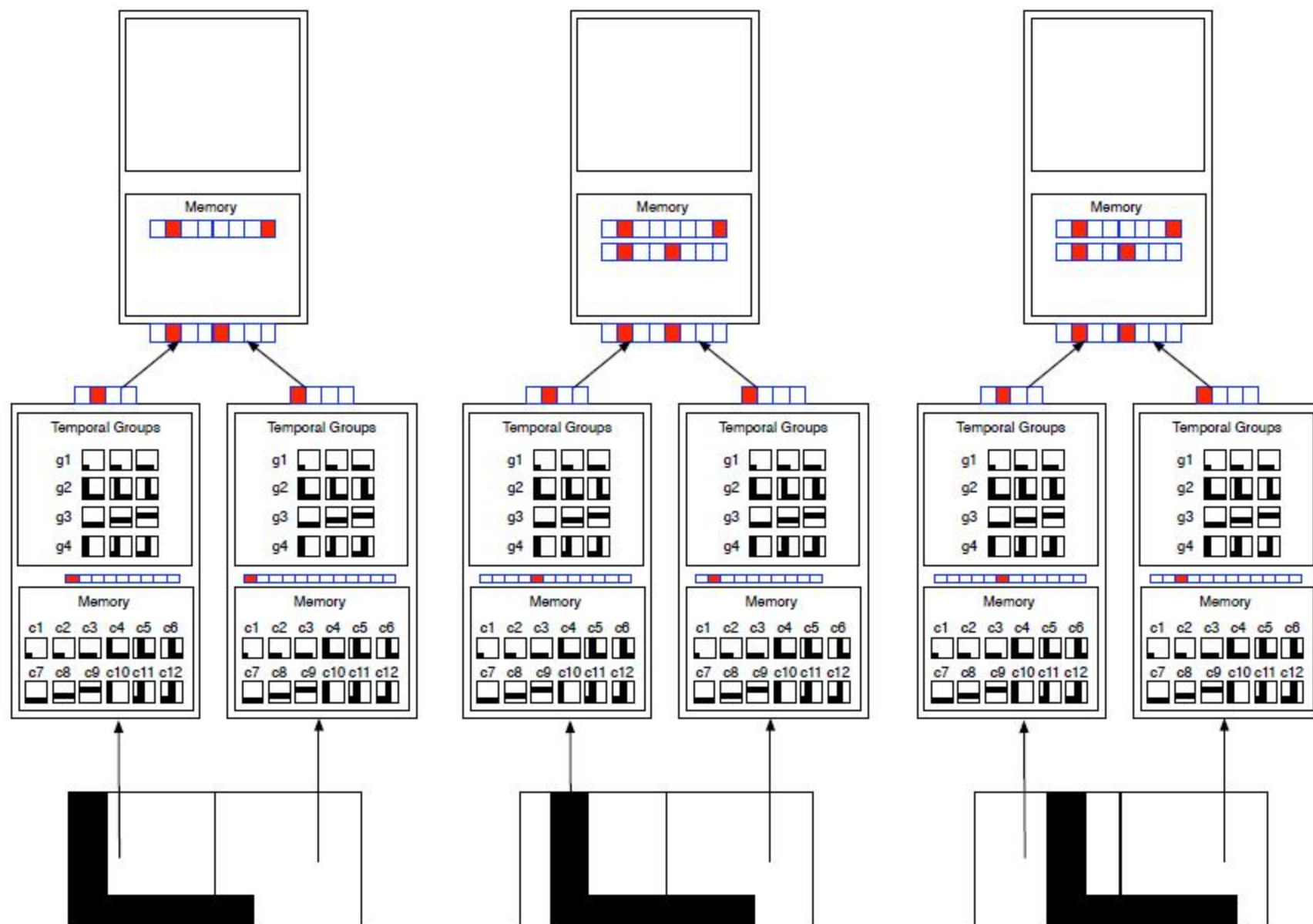
- 输入：同学习阶段
- 输出：输入模式属于每个时间序列的概率（向量表示）



层级中结点的操作（以两层为例）

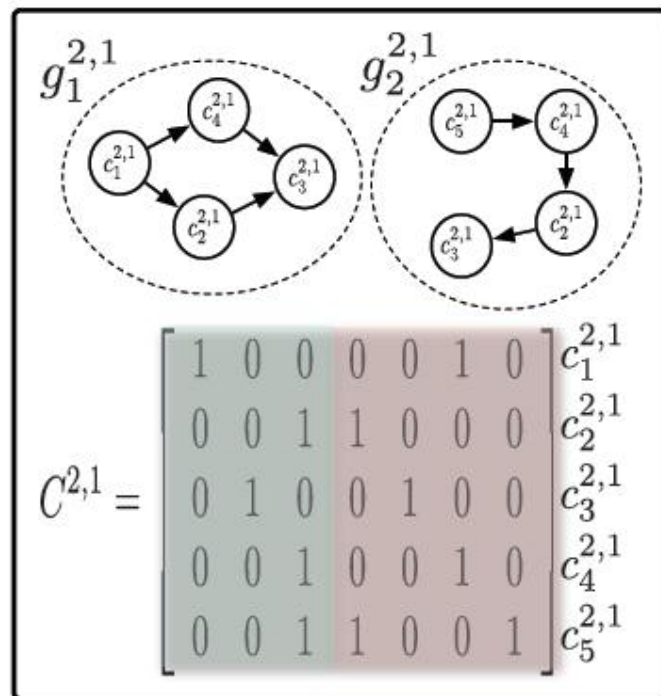


层级中结点的操作（以两层为例）

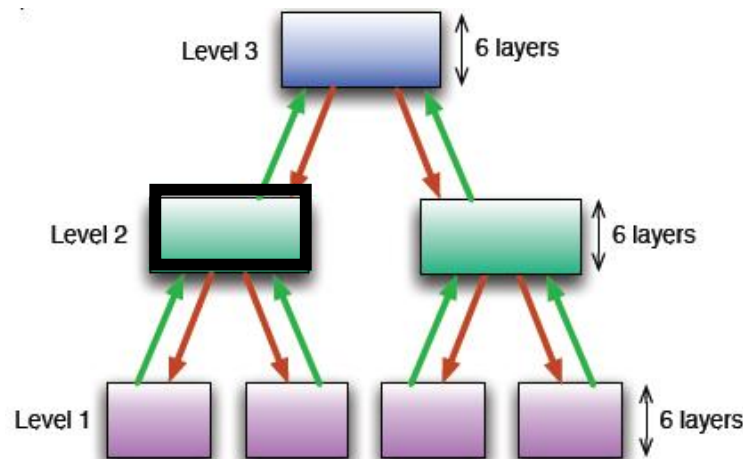
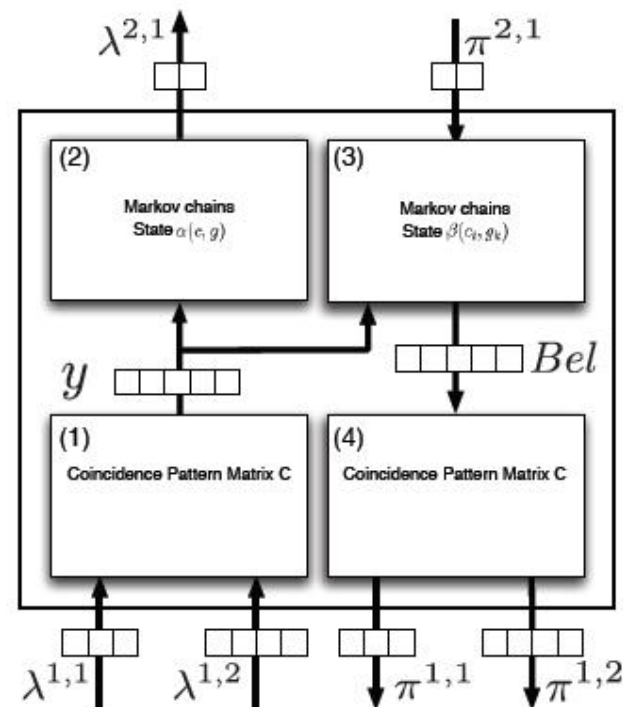


HTM信念传播的神经实现

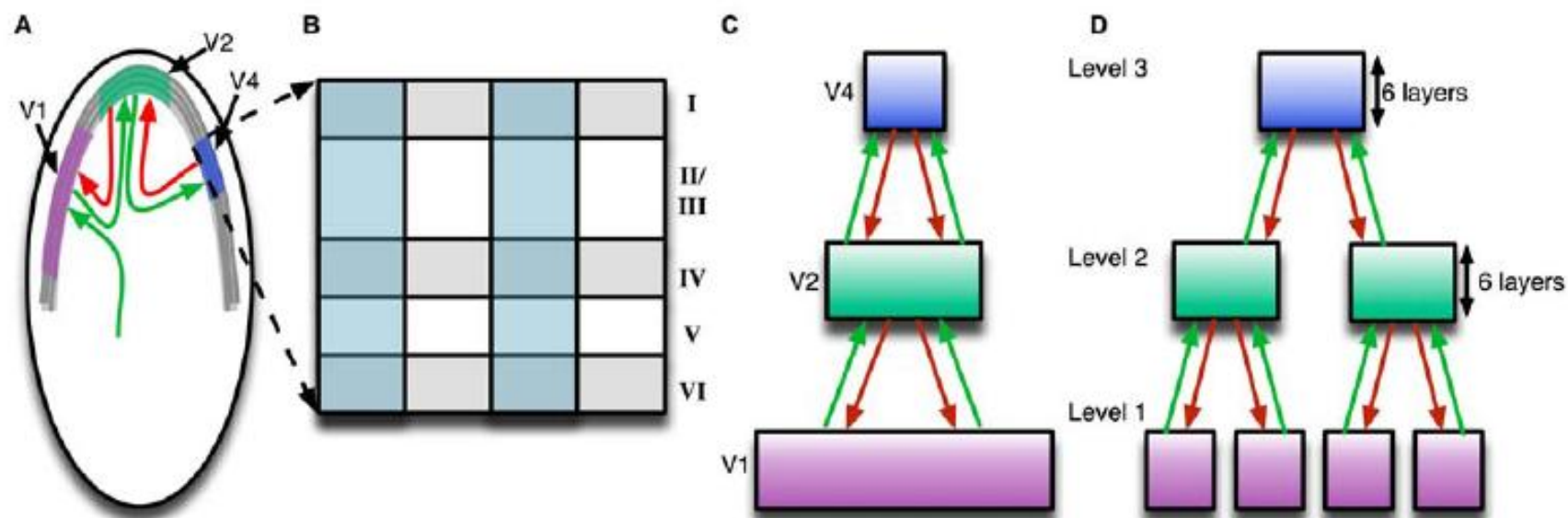
(a) $N^{2,1}$



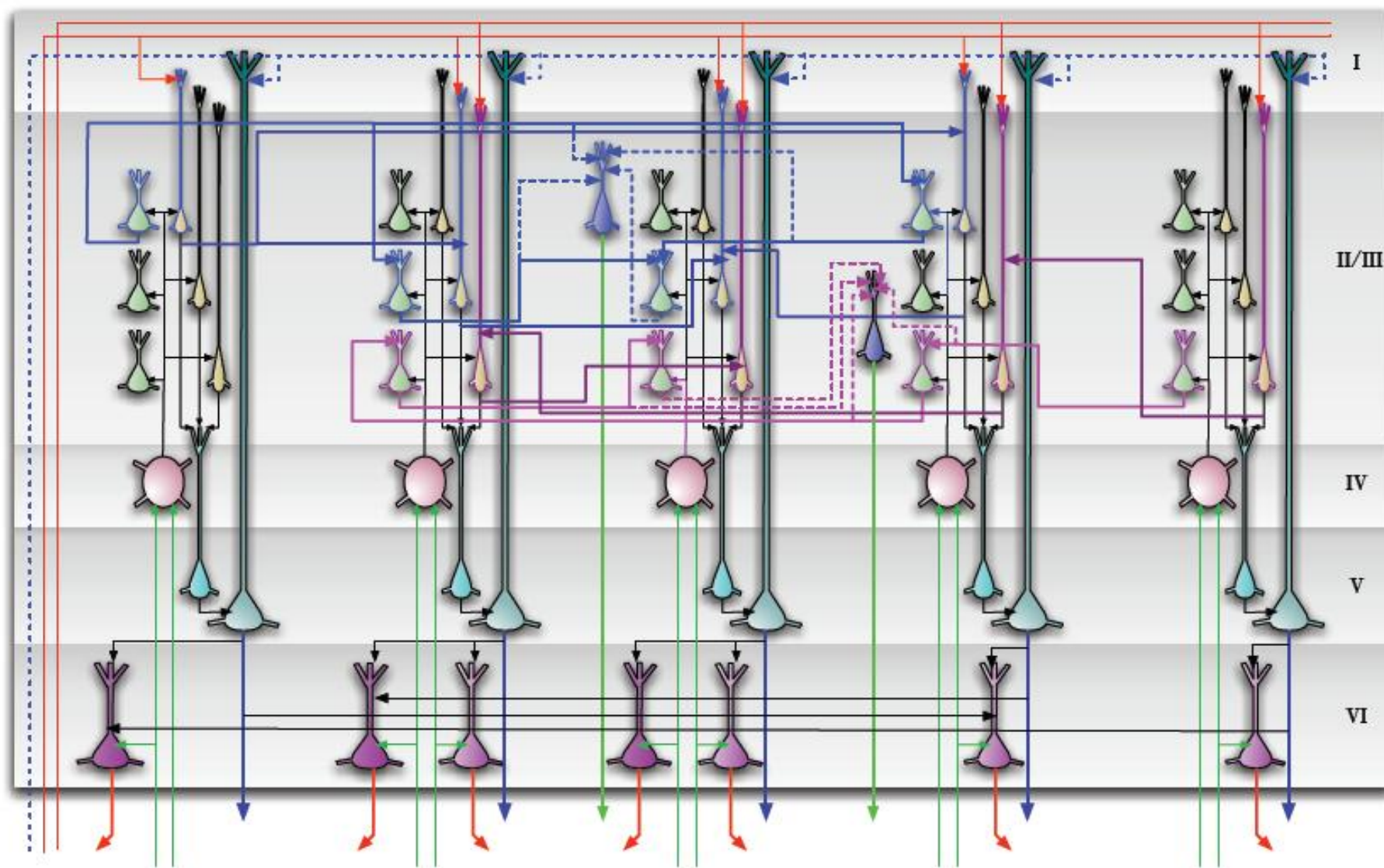
(b)



新皮层和HTM的对应关系

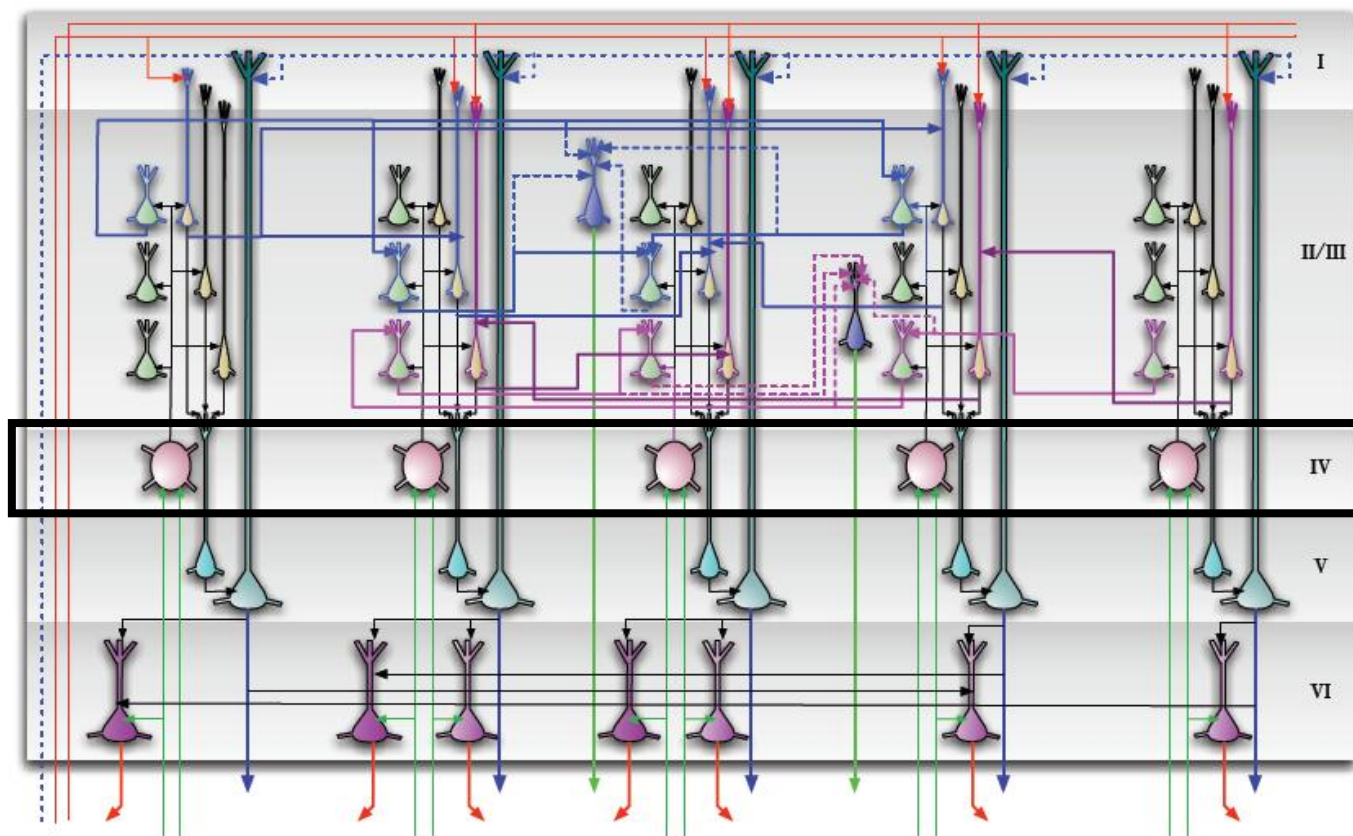
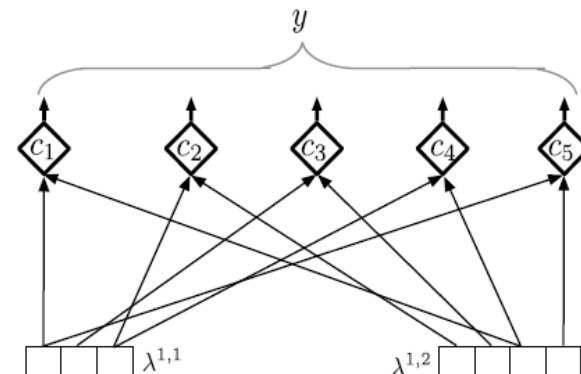


新皮层电路图



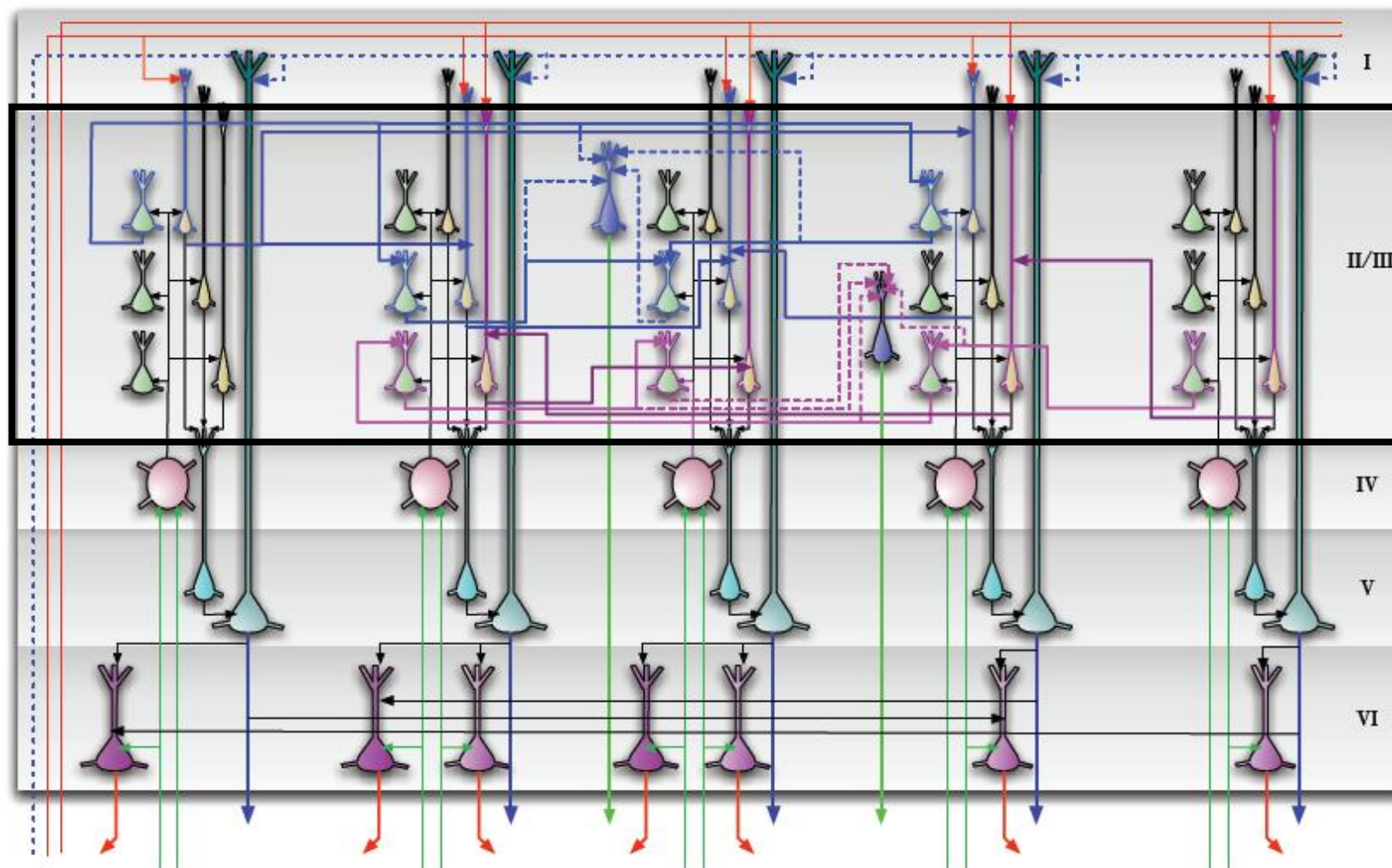
第4层星形神经元： 计算正向模式概率

- 主要的正向信息传入层，投射到L3
 - 例如：视网膜 -> LGN -> V1 L4
- 反馈输入一般避免L4区域



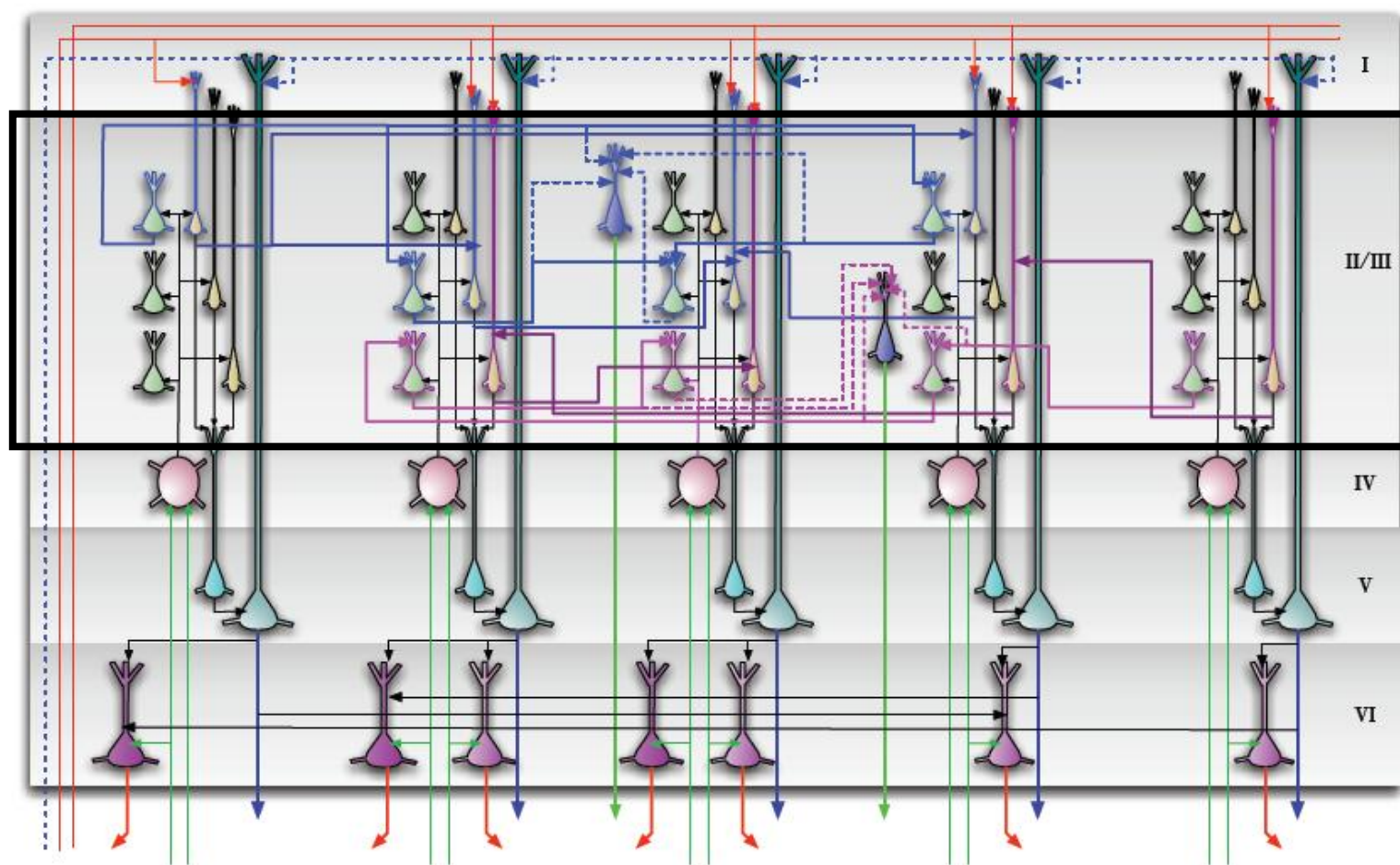
第3层金字塔细胞

- 纵向输入：L4、L1；纵向输出：L5、高级皮层
- 大量横向连接
- 复杂细胞，响应移动刺激



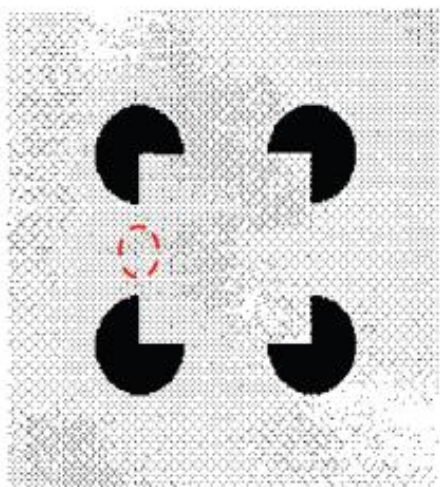
第3层金字塔细胞

- 序列记忆
- 向高级皮层输出序列概率
- 整合反馈信息

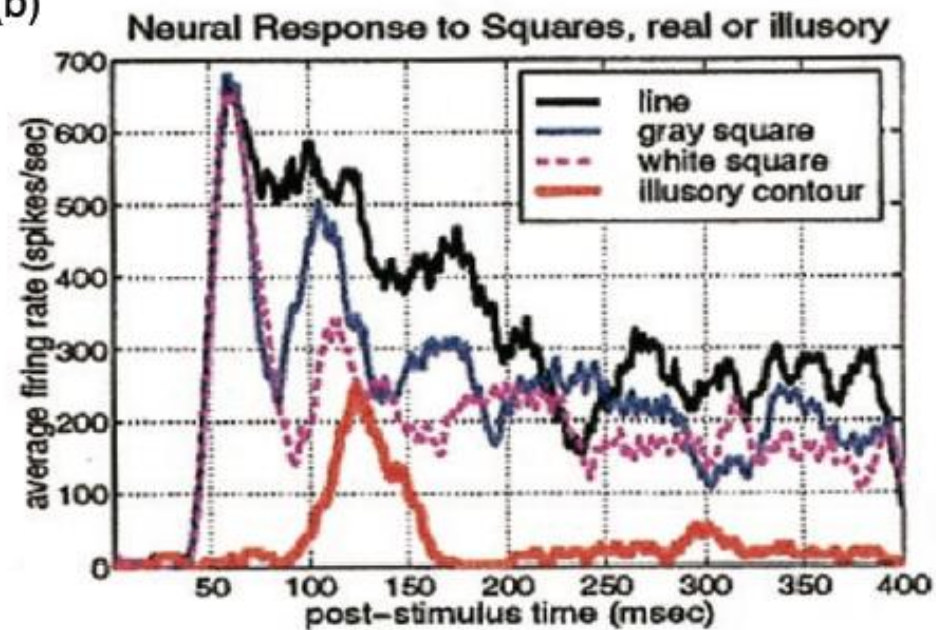


幻觉轮廓效应

(a)

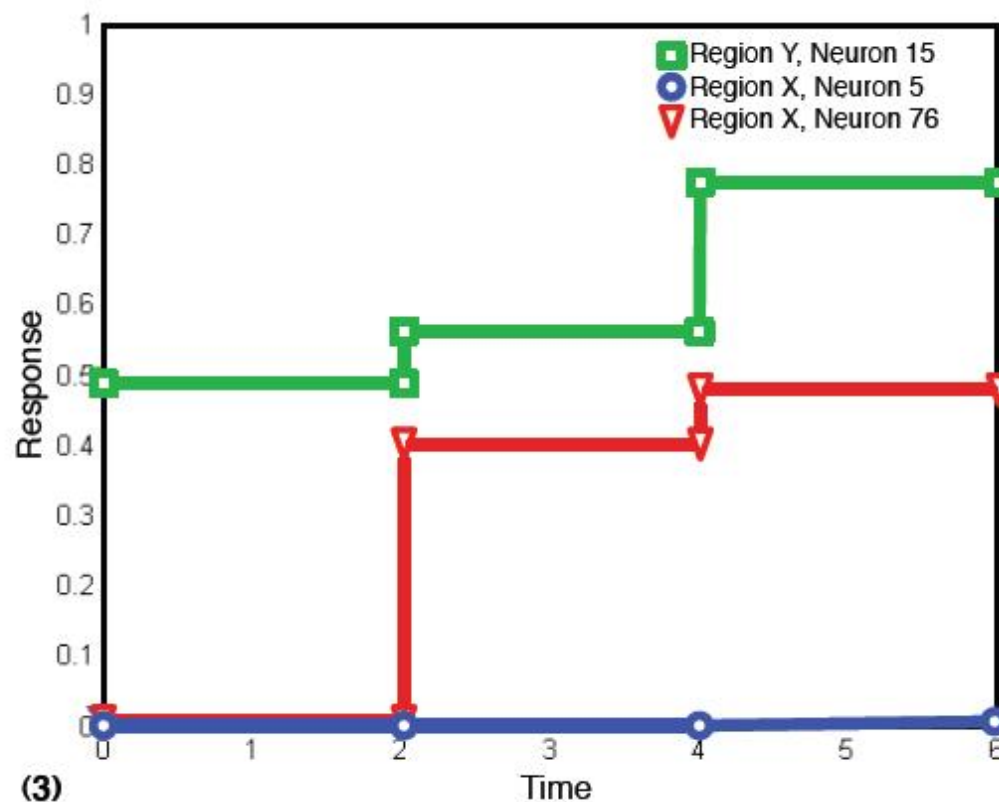
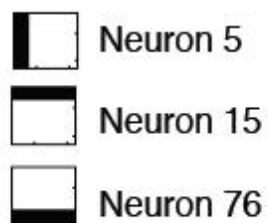
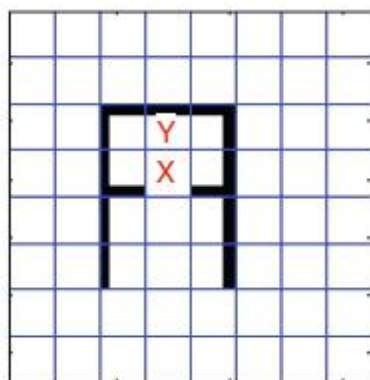
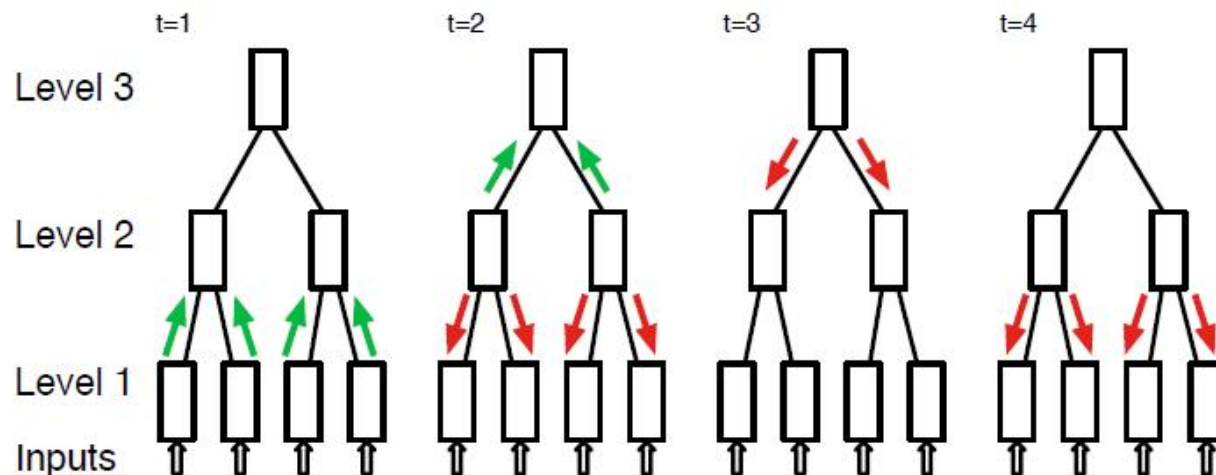


(b)



实验表明，与幻觉边缘对应的V1神经元有响应

HTM网络的 幻觉轮廓



新皮层/HTM为什么能work?

- 新皮层/HTM的组织结构反映了物理世界的组织结构的基本规律
 - 空间和时间的局部性和层次性
 - 空间局部性：相邻空间的模式更可能相关（由相同原因导致）
 - 时间局部性：顺序出现的模式更可能相关（由相同原因导致）
 - 空间层次性：例如多尺度、分形
 - 时间层次性：例如语言、股票市场
-
- 层次性保证局部性原理在更大的尺度上仍然适用

