

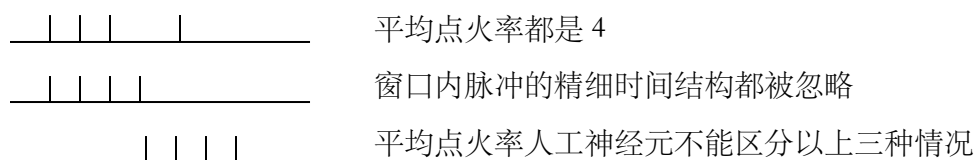
## 1. 平均点火率人工神经网络和脉冲神经网络

平均点火率人工神经网络 (AFRNN — Average Firing Rate Neural Networks)  $\Rightarrow$  空间编码  
脉冲神经网络 (SNN — Spiking Neural Networks)  $\Rightarrow$  时空编码

## 2. 平均点火率人工神经网络的局限

有空间累加、无时间累加

### 2.1. 局限一：AFRNN 未用上时间

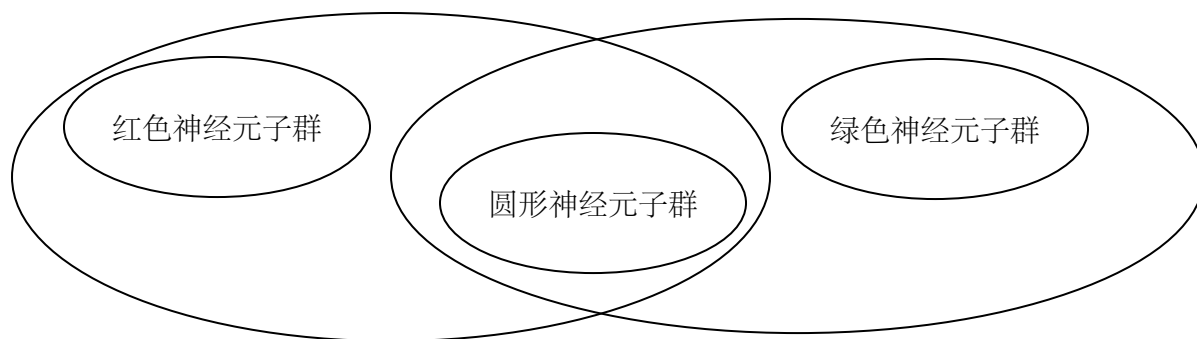


### 2.2. 局限二：AFRNN 在信息编码方面的局限

- Barlow 理论：单个兴奋的细胞被用来编码信息（生物：有祖母柱，无老祖母细胞）  
存在问题：组合爆炸及信息集成
- Hebb 理论：同时兴奋的细胞群的分布对信息进行编码  
存在问题：不可区分的重叠（特征捆绑难题）

## 3. 脉冲同步振荡编码理论 (Malsburg)

1. 一起同步振荡的神经元群编码着特定信息
2. 该理论解决了 Hebb 理论的重叠、特征捆绑问题及 Barlow 理论的组合爆炸问题
3. 脉冲同步振荡编码理论：视觉中同时出现“红色图形”、“绿色图形”两个目标



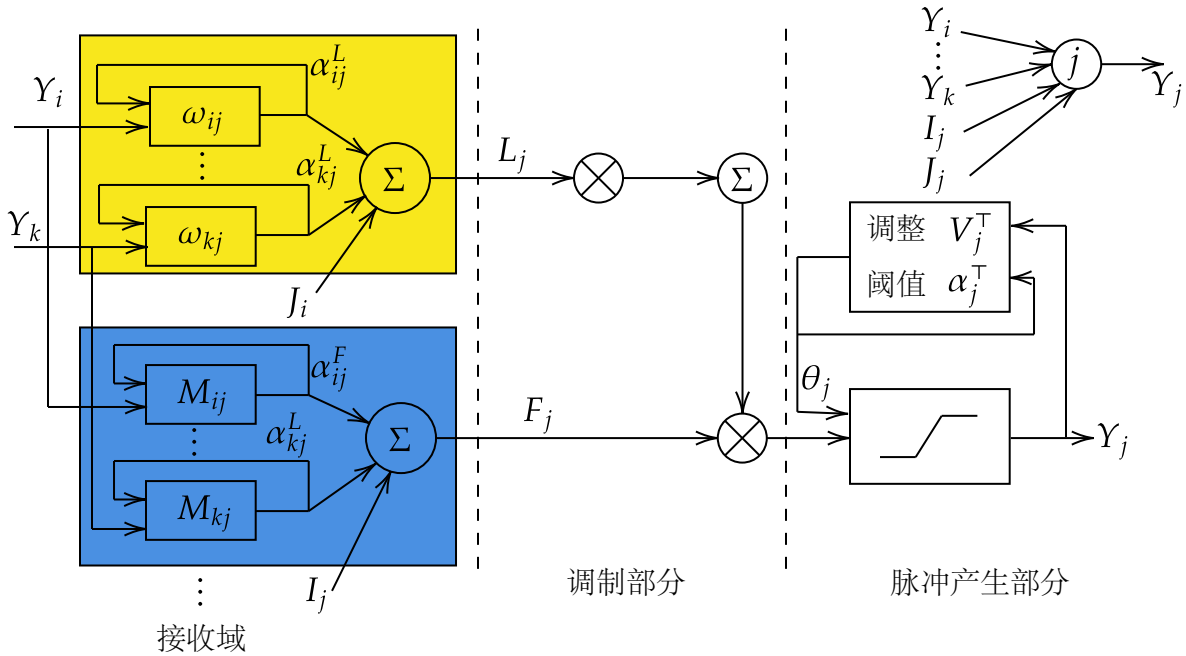
不同特征通过同步振荡捆绑在一起

## 4. 脉冲神经网络的发展历程

### 4.1. 概述

- 80 年代末，Eckhorn、Gray 等人发现动物视觉皮层的脉冲同步发放行为
- Eckhorn 提出了展示该现象的联接模型
- Hopfield：脉冲出现的准确时间，（不是神经元平均点火率）对模拟信息进行了编码
- Sejnowsk：时间编码可能是一种新的神经编码
- SNN 更接近生物系统，计算能力超过 AFRNN
- 脉冲神经网络有多种具体的模型，如 PCNN、耦合振荡模型等

### 4.2. PCN 模型



$$L_j = \sum_k I_{kj} = \sum_k \left[ \omega_{kj} \exp(-\alpha_{kj}^L t) \right] \otimes Y_k(t) + J_j \quad (1)$$

$$F_j = \sum_k F_{kj} = \sum_k \left[ M_{kj} \exp(-\alpha_{kj}^F t) \right] \otimes Y_k(t) + I_j \quad (2)$$

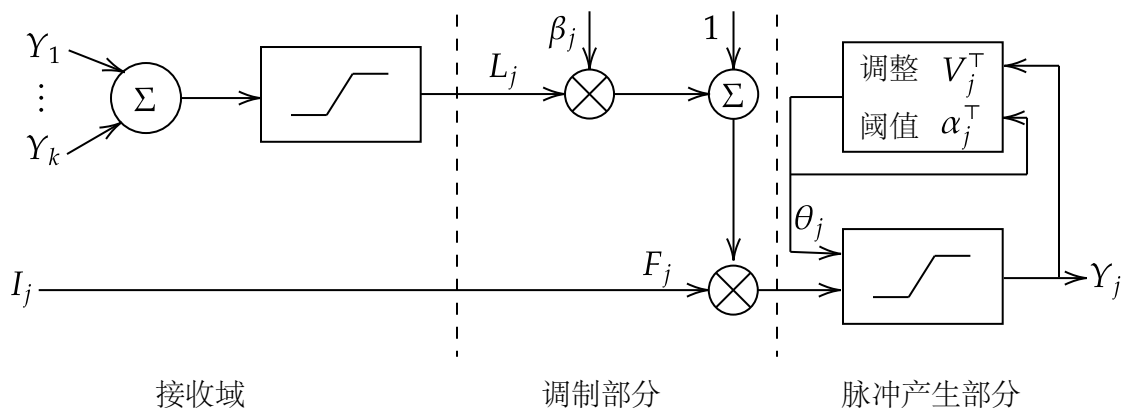
$$U_j = F_j(1 + \beta_j L_j) \quad (3)$$

$$\frac{d\theta_j(t)}{dt} = -\alpha_j^\top + V_j^\top Y_j(t) \quad (4)$$

$$\text{求解时，积分下限为最近一次点火前一瞬 } Y_j = \text{step}(u_j - \theta_j) \quad (5)$$

$F_j$ : 来自  $F$  通道的信号       $L_j$ : 来自  $L$  通道的信号       $u_j$ : 调制信号  
 $\omega_{kj}$ 、 $M_{kj}$ : 联接权       $\alpha_{kj}^L$ 、 $\alpha_{kj}^F$ : 时间常数       $I_j$ 、 $J_j$ : 输入常量  
 $\theta_j$ : 阈值       $V_j^T$ : 阈值幅度系数       $\alpha_j^T$ : 阈值幅度系数       $Y_j$ : 输出脉冲

### 4.3. Unit — Linking PCN 模型



$$F_j(t) = I_j(t) \quad L_j(t) = \text{step} \left[ \sum_{k \in N(j)} Y_k(t) \right] = \begin{cases} 1 & \sum_{k \in N(j)} Y_k(t) > 0 \\ 0 & \sum_{k \in N(j)} Y_k(t) \leq 0 \end{cases}$$

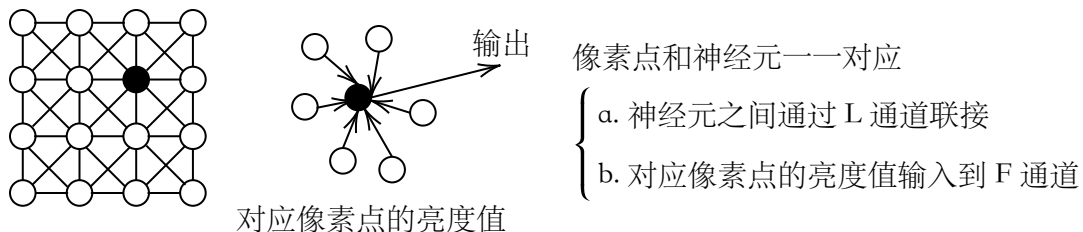
$$u_j(t) = F_j(t)[1 + \beta_j L_j(t)] \quad \frac{d\theta_j(t)}{dt} = -\alpha_j^T + V_j^T Y_j(t)$$

$$Y_j(t) = \text{step}[u_j(t) - \theta_j(t)] = \begin{cases} 1 & u_j(t) > \theta_j(t) \\ 0 & u_j(t) \leq \theta_j(t) \end{cases}$$

Unit — Linking PCN 和 PCN 的区别在于二者表达式中的  $F_j$  和  $L_j$  不一致

### 4.4. 联接方式

#### 4.4.1. 图像处理



#### 4.4.2. 其他

## 4.5. PCNN 特征

脉冲耦合、双通道调制、动态阈值、同步振荡、脉冲并行传播

## 4.6. 应用

图像处理及混合、特征提取及模式识别、优化、仿生建模

例1：用 Unit — Linking PCNN 进行图像空洞滤波

- 在不是空洞的背景亮区中任取一点作为脉冲发放源，让其最先点火，发出脉冲
- 脉冲波自动而迅速的在非空洞背景亮区传播
- 脉冲波被空洞的边界暗区挡在洞外
- 未点火神经元对应了空洞及其边缘

例2：用 Unit — Linking PCNN 寻找最短路径

连接方式：路径图中的各节点分别对应一个神经元；若两神经元之间有路径存在，则这两神经元通过 L 通道互相连接

算法：

- 起始点发出脉冲
- 脉冲沿着所有可能的通道并行地传播，记录路径
- 最先到达终点到脉冲波所走过的路径就是最短路径

优点：所需的计算量仅正比于最短路径的长度，与路径图的复杂程度及图中的通路总数无关