

- 卷积
- 乘法
- 非线性
- $f_1$  RGB  $\rightarrow$  LMS
- $f_2$  DO  $\rightarrow$  LMS



输入图像

卷积+



$m$



$s$

视锥细胞

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3192 & 0.6098 & 0.0447 \\ 0.1647 & 0.7638 & 0.0870 \\ 0.0202 & 0.1296 & 0.9391 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$f_1: \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix}$$

- $O_{lm}(x, y) = (l(x, y) - m(x, y)) / \sqrt{2}$
- $O_{ml}(x, y) = -O_{lm}(x, y)$
- $O_{ys}(x, y) = (y(x, y) - 2s(x, y)) / \sqrt{6}$
- $O_{sy}(x, y) = -O_{ys}(x, y)$
- $O_{b+}(x, y) = b(x, y) / \sqrt{3}$
- $O_{b-}(x, y) = -O_{b+}(x, y)$

视网膜/LGN层

- $O_{lm}(x, y) = (l(x, y) - m(x, y)) / \sqrt{2}$
- $O_{ml}(x, y) = -O_{lm}(x, y)$
- $O_{ys}(x, y) = (y(x, y) - 2s(x, y)) / \sqrt{6}$
- $O_{sy}(x, y) = -O_{ys}(x, y)$
- $O_{b+}(x, y) = b(x, y) / \sqrt{3}$
- $O_{b-}(x, y) = -O_{b+}(x, y)$

初级视觉皮层(V1)

高级视觉皮层(比如 V4)

$$\begin{aligned} DO_{lm}(x, y) &= SO_{l+m}(x, y; \sigma) + k \cdot SO_{m+l}(x, y; \lambda\sigma) \\ DO_{sy}(x, y) &= SO_{s+y}(x, y; \sigma) + k \cdot SO_{y+s}(x, y; \lambda\sigma) \\ DO_b(x, y) &= SO_{b+}(x, y; \sigma) + k \cdot SO_{b-}(x, y; \lambda\sigma) \end{aligned} \quad (2-7)$$

而II型单拮抗神经元的感受野结构可以用一个二维的高斯函数来表示<sup>[53, 55]</sup>:

$$RF(x, y; \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2-5)$$

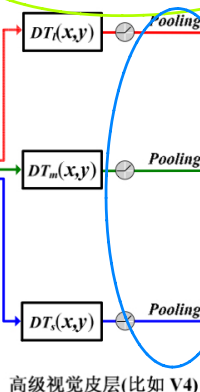
公式(2-5)中的 $\sigma$ 表示高斯函数的标准差, 它控制神经元感受野的尺度(比如感受野的大小), 以II型红-绿单拮抗神经元作为例子(图2-6), 红-绿单拮抗神经元的信号响应可以由以下卷积公式得到:

$$SO_{l+m}(x, y; \sigma) = O_{lm}(x, y) * RF(x, y; \sigma) \quad (2-6)$$

其中符号 $*$ 表示卷积运算, 类似的我们可以用同样的方式计算绿-红单拮抗神经元的响应 $SO_{m+l}(x, y)$ , 以及蓝-黄和黄-蓝单拮抗神经元的响应 $SO_{s+y}(x, y)$ 和 $SO_{y+s}(x, y)$ , 以及最后黑-白和白-黑颜色单拮抗神经元的响应 $SO_{b+}(x, y)$ 和 $SO_{b-}(x, y)$ .

了对一幅合成的图像<sup>[155]</sup>, 调节参数 $k$ 得到双拮抗神经元对输入图像(original)的响应, 当 $k=1$ 时, 双拮抗神经元中心和外周感受野接受相同强度的视锥体细胞输入, 由于中心和外周是对称的, 在这种情况下双拮抗神经元主要对图像的颜色边界(或颜色对比)进行响应。相反, 当 $k \neq 1$ 时, 双拮抗神经元既能够对颜色对比进行响应, 同时也能够对颜色块(color patch)响应, 而参数 $k$ 取较大的值时, 双拮抗神经元更多的是对颜色边界进行响应, 以上模型的实验结果也很好的符合电生理实验的结果<sup>[54, 55]</sup>。

$$\begin{pmatrix} DT_l(x, y) \\ DT_m(x, y) \\ DT_s(x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DO_{lm}(x, y) \\ DO_{sy}(x, y) \\ DO_{b+}(x, y) \end{pmatrix}$$



$$e_i = \text{pooling}(DT_i(x, y)) / \text{coef}, \quad i \in \{l, m, s\}$$

$$\text{coef} = \sum_{i \in \{l, m, s\}} \text{pooling}(DT_i(x, y))$$

求最大值(max)  
或求平均(sum)  
作选。