

# Fórmulas Matemáticas de la Arquitectura RNTA

## 1. Optimizador Espacial Adaptativo (SEA)

El optimizador SEA extiende los conceptos de optimizadores adaptativos como Adam a espacios tensoriales 3D, añadiendo modulación contextual y conciencia espacial.

### 1.1 Momento Tensorial de Primer Orden

$$m_t^{(x,y,z)} = \beta_1 \cdot m_{t-1}^{(x,y,z)} + (1 - \beta_1) \cdot g_t^{(x,y,z)}$$

### 1.2 Momento Tensorial de Segundo Orden

$$v_t^{(x,y,z)} = \beta_2 \cdot v_{t-1}^{(x,y,z)} + (1 - \beta_2) \cdot (g_t^{(x,y,z)})^2$$

### 1.3 Factores de Corrección

$$\hat{m}_t^{(x,y,z)} = \frac{m_t^{(x,y,z)}}{1 - \beta_1^t}$$

$$\hat{v}_t^{(x,y,z)} = \frac{v_t^{(x,y,z)}}{1 - \beta_2^t}$$

### 1.4 Modulación Espacial (Conciencia Contextual)

$$S^{(x,y,z)} = 1 + \lambda \cdot \sqrt{\sum_{\delta \in N(x,y,z)} \|g_t^\delta - g_t^{(x,y,z)}\|^2}$$

Donde  $N(x,y,z)$  representa el vecindario de la posición  $(x,y,z)$ .

### 1.5 Factor de Importancia Informacional

$$I^{(x,y,z)} = \tanh \left( \gamma \cdot \frac{\|g_t^{(x,y,z)}\|}{\text{mean}(\|g_t\|) + \epsilon} \right)$$

### 1.6 Tasa de Aprendizaje Adaptativa Global por Región

$$\alpha^{(x,y,z)} = \alpha_{\text{base}} \cdot I^{(x,y,z)} \cdot (1 + \delta \cdot \cos(\phi_t))$$

### 1.7 Actualización Final de Parámetros

$$\theta_t^{(x,y,z)} = \theta_{t-1}^{(x,y,z)} - \alpha^{(x,y,z)} \cdot \frac{\hat{m}_t^{(x,y,z)}}{S^{(x,y,z)} \cdot \sqrt{\hat{v}_t^{(x,y,z)} + \epsilon}}$$

Donde:

- $g_t^{(x,y,z)}$  es el gradiente en la posición  $(x,y,z)$  en el paso  $t$
- $\beta_1, \beta_2$  son los factores de decaimiento para los momentos (típicamente 0.9 y 0.999)

- $\lambda$  es el factor de modulación espacial (típicamente 0.1-0.5)
- $\gamma$  es el factor de sensibilidad a la importancia informacional (típicamente 0.5-2.0)
- $\delta$  es la amplitud de oscilación de la tasa de aprendizaje (típicamente 0.05-0.2)
- $\phi_t$  es una fase temporal que varía con las iteraciones ( $\phi_t = 2\pi \cdot t/T$  donde  $T$  es un período)
- $\epsilon$  es un factor de estabilidad numérica (típicamente  $1e-8$ )

## 2. Activaciones Volumétricas

### 2.1 Activación Tanh Adaptativa

$$f(x^{(i,j,k)}) = \tanh(x^{(i,j,k)} \cdot (1 + \sigma \cdot |x^{(i,j,k)}|))$$

Donde  $\sigma$  es el factor de pendiente adaptativa.

### 2.2 Swish Volumétrico

$$f(x^{(i,j,k)}) = x^{(i,j,k)} \cdot \sigma(x^{(i,j,k)} \cdot (1 + c \cdot \cos(\bar{N}^{(i,j,k)})))$$

Donde  $\bar{N}^{(i,j,k)}$  es el valor promedio del vecindario y  $c$  es el factor contextual.

### 2.3 ReLU Tensorial

undefined