Aula 5: retropropagação

13/11/2026, on-line. O que não couber entra na aula seguinte.

1. Revisão das aulas 3 e 4

de memória: a camada como matriz, a ativação, a regra da cadeia, o XOR à mão
o fio do curso, da aula 1 à 10; hoje, a 5

2. A regra da cadeia na rede

nove números: como achar sem escolher à mão?
as taxas se multiplicam; $z = 3w$, $L = z^2$, $18w$; $\partial L/\partial w = 2(y - t)\,\sigma'(z)\,x$
vídeo: três retas, um passo cresce 3 vezes e depois 6; as razões chegam a 18
δ de cada neurônio; $\partial L/\partial v_k = \delta\, h_k$; $\delta_k = \delta\, v_k\, \sigma'(z_k)$; $\partial L/\partial w_{kj} = \delta_k\, x_j$
vídeo: os pesos da aula 3 em (0; 1), $y = 0{,}437$; $\delta = -0{,}277$, $\delta_1 = -0{,}065$, $\delta_2 = 0{,}065$
um passo com um exemplo só: (0; 1) sobe, mas os outros também; a perda piora

3. Conferir e treinar

os quatro de uma vez: a perda é a média; 200 passos acertam o XOR, perda 0,0359
a derivada numérica confere: diferença $2{,}8 \cdot 10^{-11}$; 18 passadas contra 2
vídeo: o patamar perto de 0,25 e a queda até 0,0021; outra solução que a da mão
sementes: 16 de 20 chegam; 4 param perto de 0,126; mínimo local? Hamey, 1998

4. De onde vem

Rumelhart, Hinton e Williams, Nature, 09/10/1986: as unidades ocultas
Linnainmaa, 1970; Werbos, 1974; Nobel de Física de 2024

5. O código

retropropagacao.py só pela saída: é a referência da entrega
a entrega: o XOR com a própria retropropagação e o gradiente conferido

6. Fechamento

3Blue1Brown, redes neurais 3 e 4; PyTorch, Learn the Basics
a seguir: aula 6, o MNIST em NumPy; aula 7, o PyTorch