

딥러닝의 통계적이해

# 11강. 순환신경망 (1)

1. 순환신경망의 구조
2. 순환신경망의 학습
3. 순환신경망의 문제점

SK텔레콤 김기온

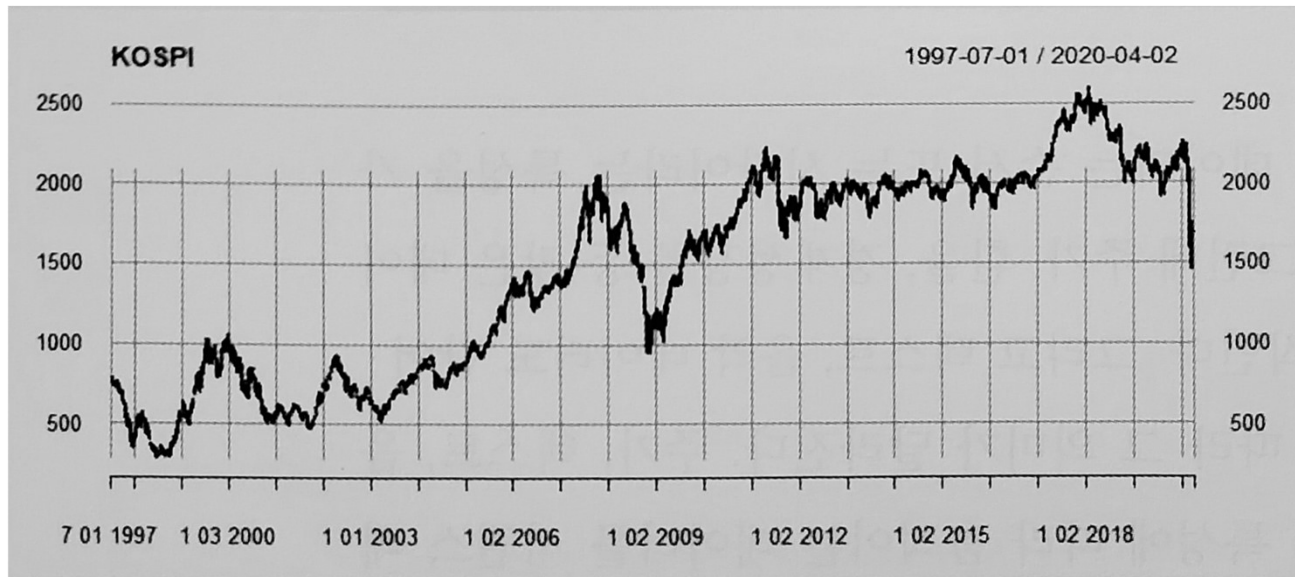
## 오늘의 **학습목표**

1. 순환신경망의 정의와 구조를 이해한다.
2. 순환신경망의 학습과정을 이해한다.
3. 순환신경망 학습과정의 문제점을 이해한다.

## 1. 순환신경망의 구조

# 시계열 데이터

### ◆ 데이터의 순서가 중요한 자료



## 1. 순환신경망의 구조

# 자연어 데이터

### ◆ 데이터의 순서가 중요한 자료

진달래꽃

나 보기가 역겨워  
가실 때에는  
말없이 고이 보내드리오리다.

영변(寧邊)에 약산(藥山)  
진달래꽃  
아름따다 가실 길에 뿌리오리다.

가시는 걸음 걸음  
놓인 그 꽃을  
사뿐히 즈려밟고 가시옵소서.

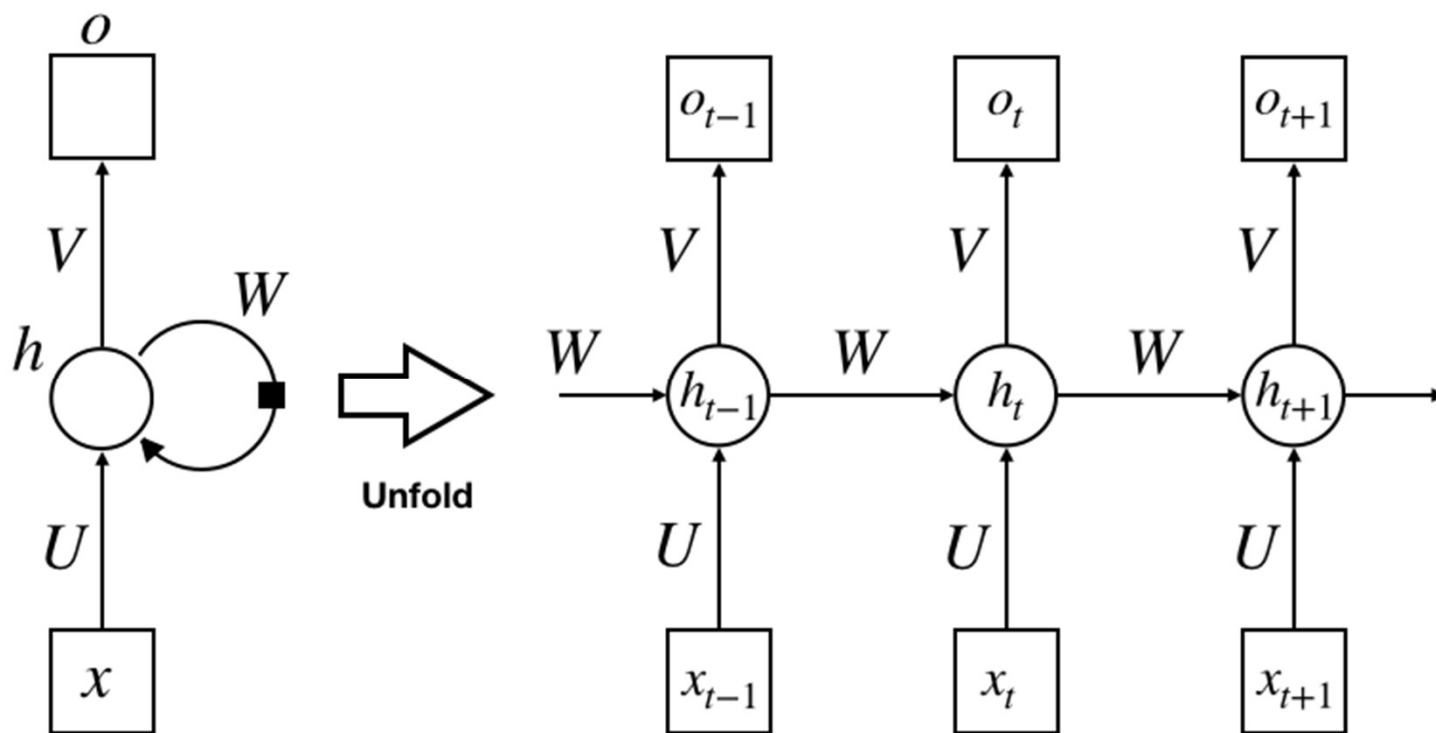
나 보기가 역겨워  
가실 때에는  
죽어도 아니 눈물 흘리오리다.



# 1. 순환신경망의 구조

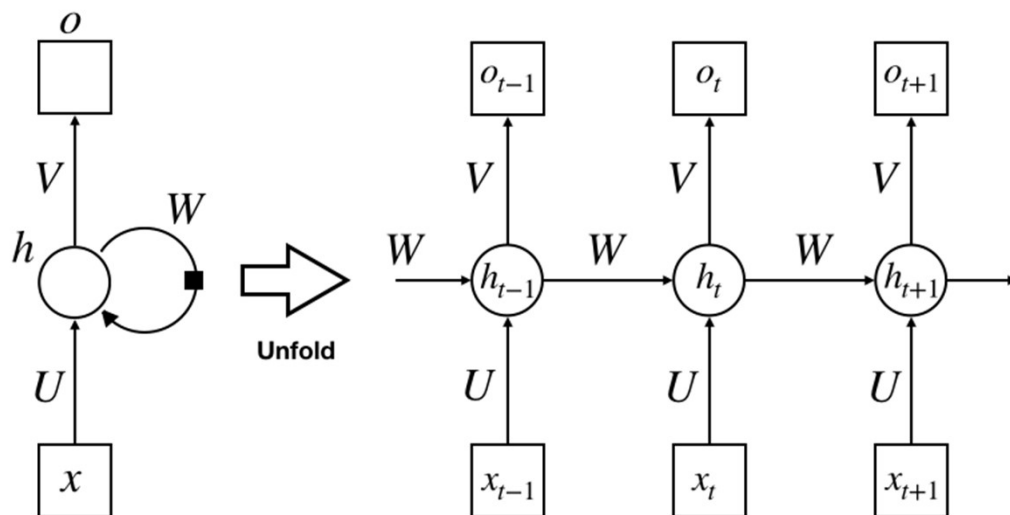
## 1. 순환신경망의 구조

# 순환신경망의 구조



## 1. 순환신경망의 구조

# 순환신경망의 구조



$$o_t = \phi_o(b_o + V h_t)$$

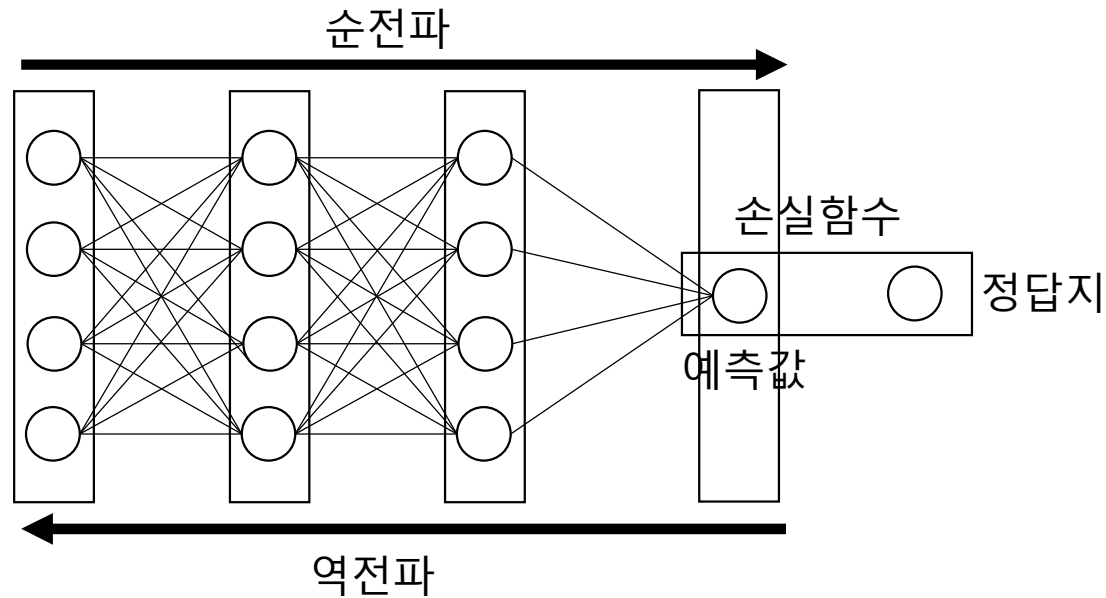
$$h_t = \phi_h(b_h + W h_{t-1} + U x_t)$$

## 2. 순환신경망의 학습



## 2. 순환신경망의 학습

# Backpropagation



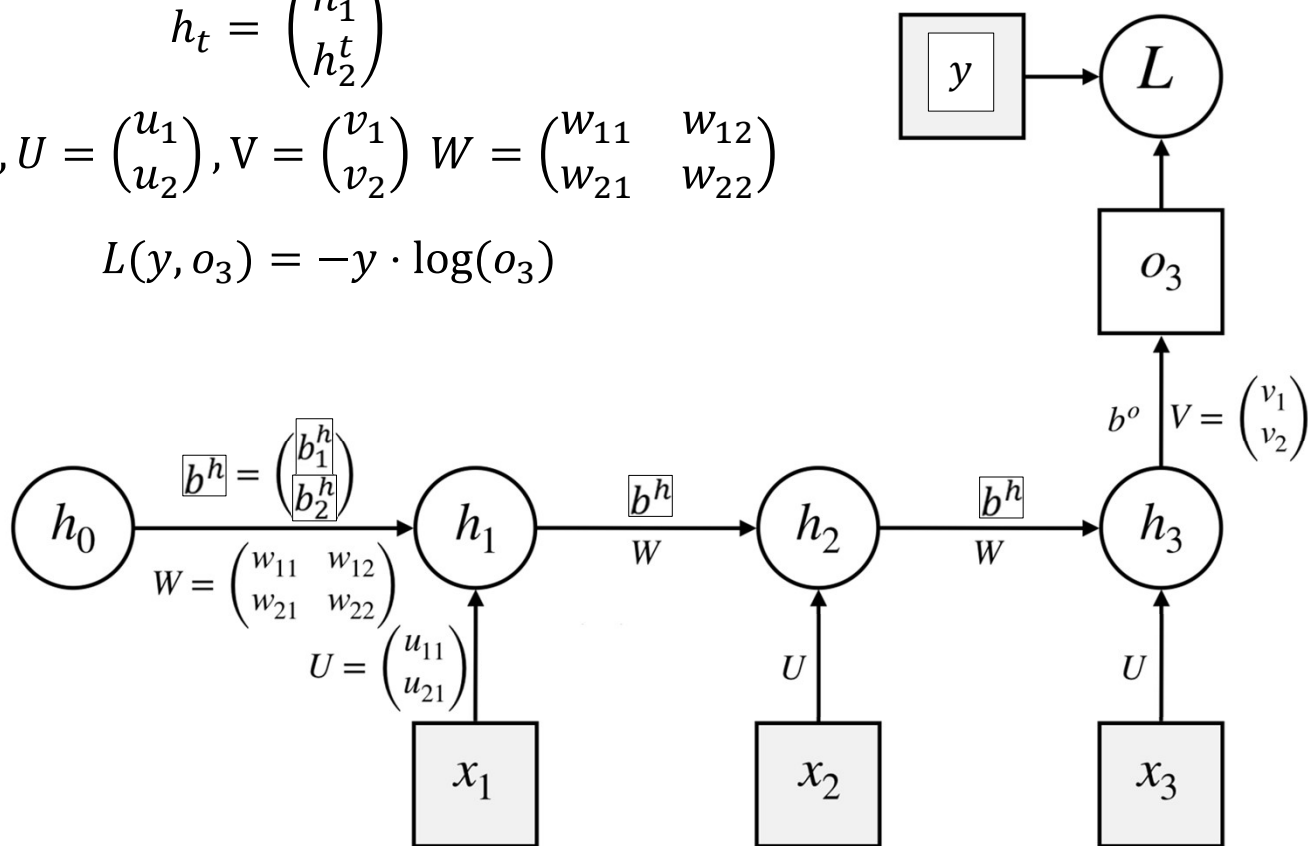
$$W^{(t+1)} = W^{(t)} - \eta \cdot \left. \frac{\partial L}{\partial W} \right|_{W^{(t)}}$$

## 2. 순환신경망의 학습

# RNN 분류기

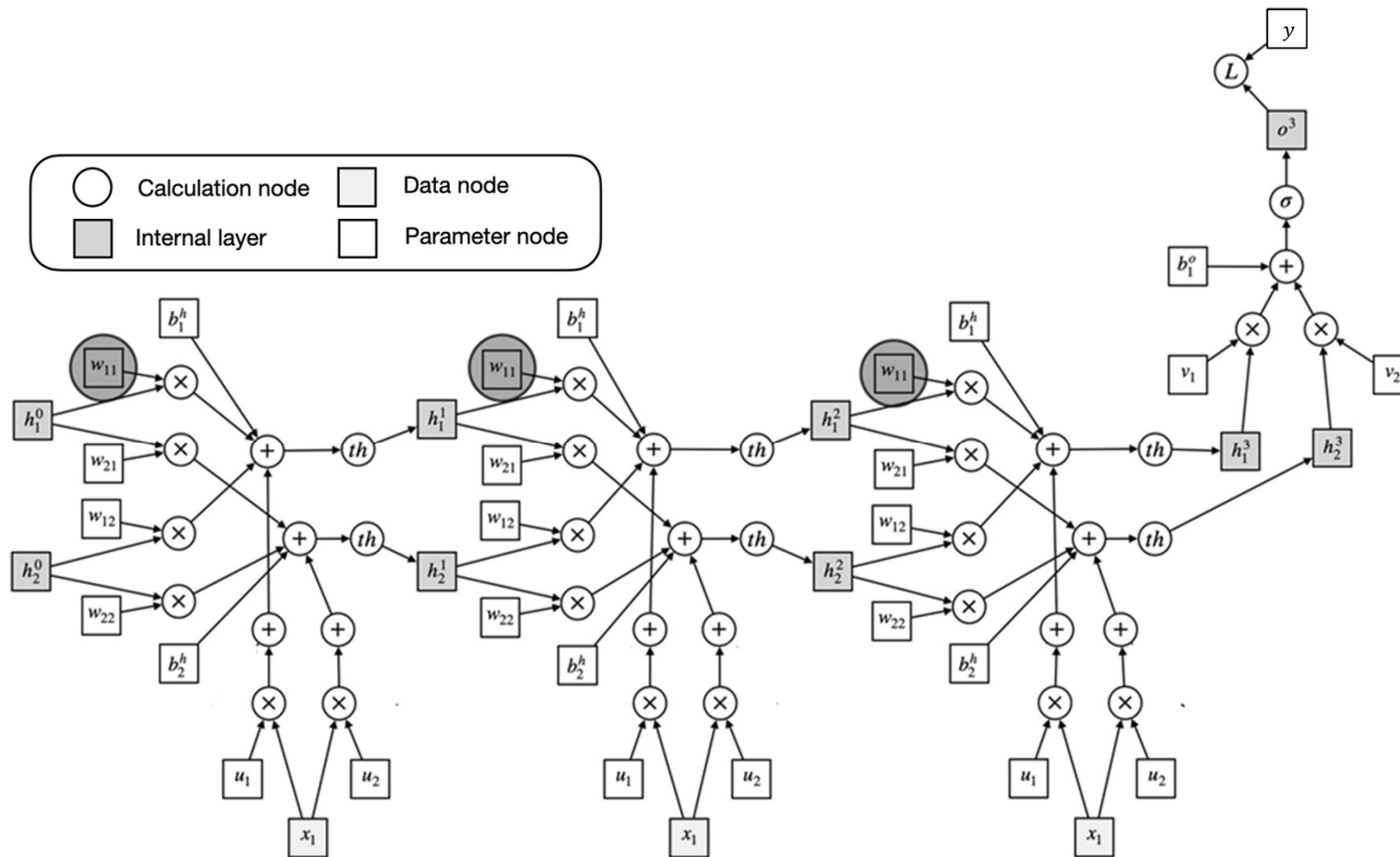
$$h_t = \begin{pmatrix} h_1^t \\ h_2^t \end{pmatrix}$$
$$b_h = \begin{pmatrix} b_1^h \\ b_2^h \end{pmatrix}, U = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{pmatrix}$$

$$L(y, o_3) = -y \cdot \log(o_3)$$



## 2. 순환신경망의 학습

# Forward propagation



## 2. 순환신경망의 학습

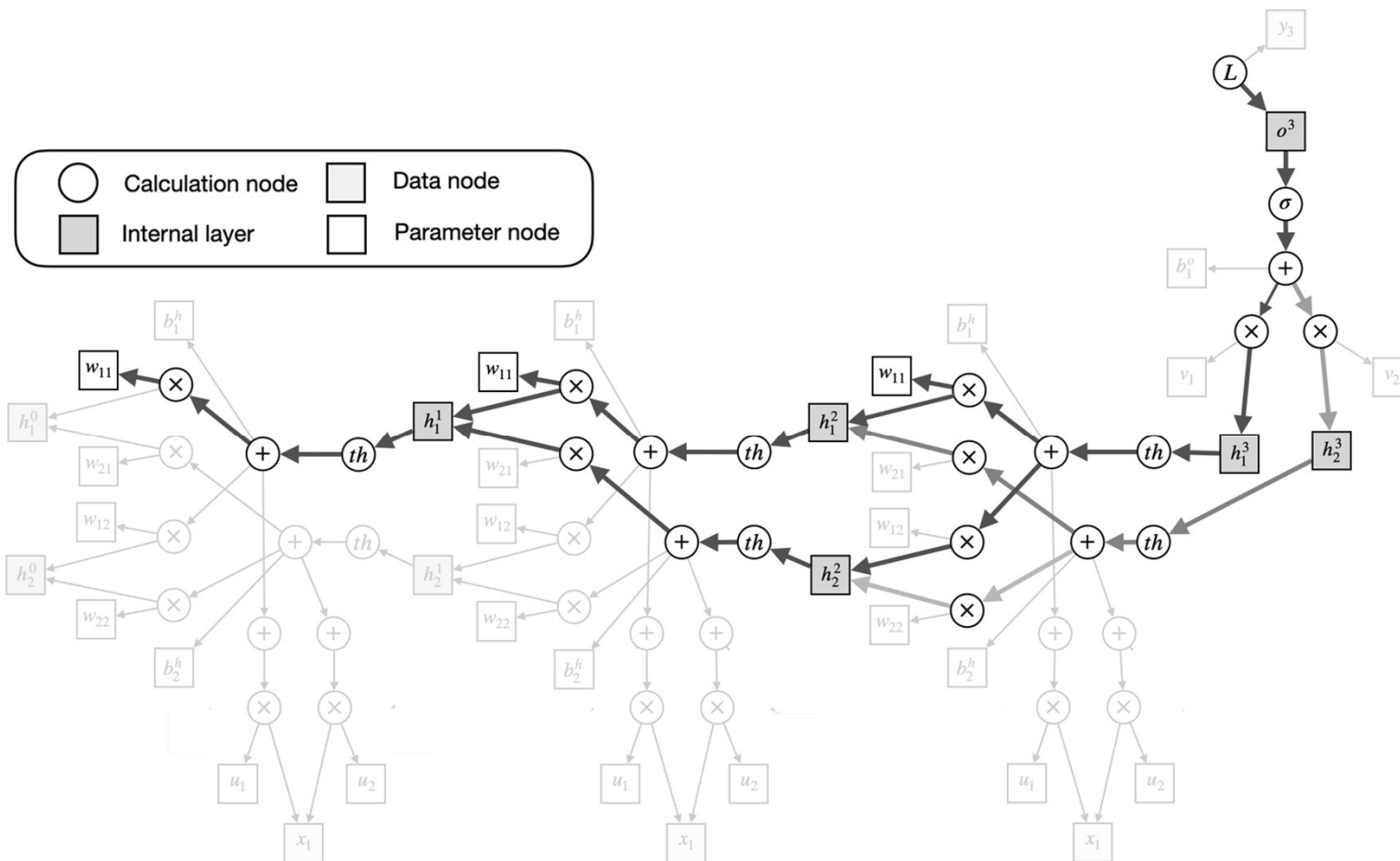
# 연쇄법칙

$$z = h(y), y = g(x), x = f(v)$$

$$\frac{\partial h(y)}{\partial v} = \frac{\partial z}{\partial v} = \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial v}$$

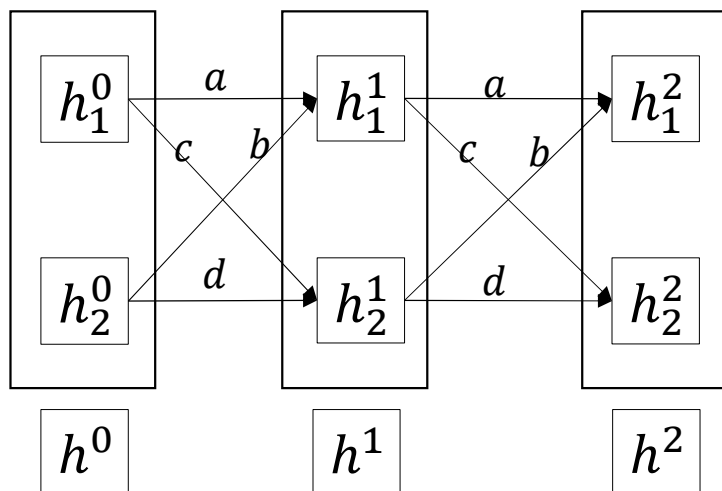
## 2. 순환신경망의 학습

# Backward propagation



## 2. 순환신경망의 학습

# 행렬의 곱



$$h^1 = \begin{pmatrix} h_1^1 \\ h_2^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_1^0 \\ h_2^0 \end{pmatrix} = Ah^0$$

$$h^2 = \begin{pmatrix} h_1^2 \\ h_2^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_1^0 \\ h_2^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a^2 + bc & ab + bd \\ ac + cd & bc + d^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_1^0 \\ h_2^0 \end{pmatrix} = A^2 h^0$$

## 2. 순환신경망의 학습

# Backpropagation through time

$$\left. \frac{\partial E_s}{\partial W} \right|_{step=1} = \frac{\partial E_s}{\partial o_s} \cdot \frac{\partial o_s}{\partial h_s} \cdot \left( \prod_{k=1}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \right) \cdot \frac{\partial h_1}{\partial W}$$

$$\left. \frac{\partial E_s}{\partial W} \right|_{step=t} = \frac{\partial E_s}{\partial o_s} \cdot \frac{\partial o_s}{\partial h_s} \cdot \left( \prod_{k=t}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \right) \cdot \frac{\partial h_t}{\partial W}$$

$$\frac{\partial E_s}{\partial W} = \sum_{t=1}^s \frac{\partial E_s}{\partial o_s} \cdot \frac{\partial o_s}{\partial h_s} \cdot \prod_{k=t}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial W}$$



### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점



### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

- 느린 속도
- 경사소실 / 경사폭발

### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

## RNN Gradient의 bound

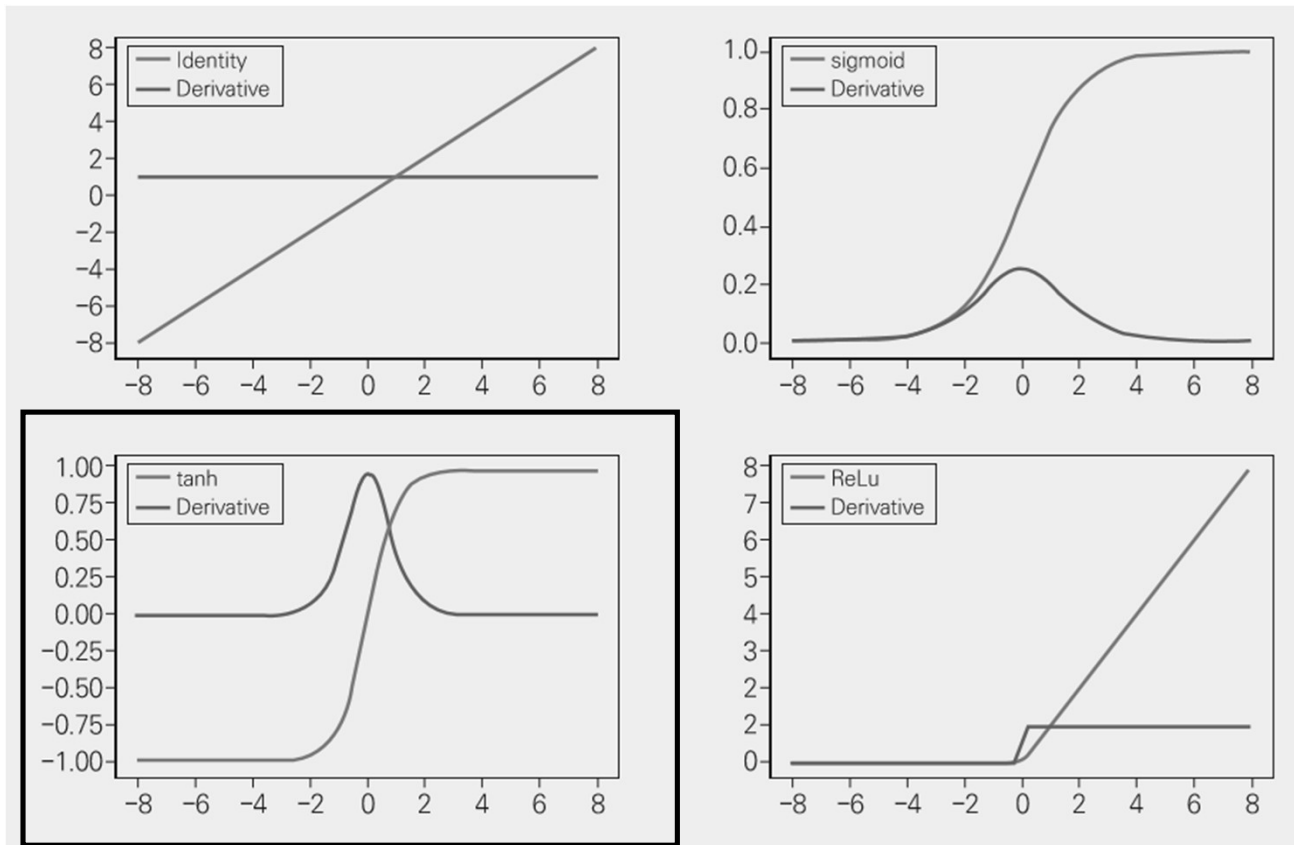
$$\frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} = W^T \cdot \text{diag}[\phi'_h(z_k)], z_k = b_h + Wh_k + Ux_{k+1}$$

$$\|W^T \cdot \text{diag}[\phi'_h(z_k)]\| \leq \|W^T\| \cdot \|\text{diag}[\phi'_h(z_k)]\| \leq \gamma_w \gamma_h$$

$$\left\| \prod_{k=t}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \right\| \leq (\gamma_w \cdot \gamma_h)^{s-t-1}$$

### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

## RNN의 경사소실 - $\gamma_h$



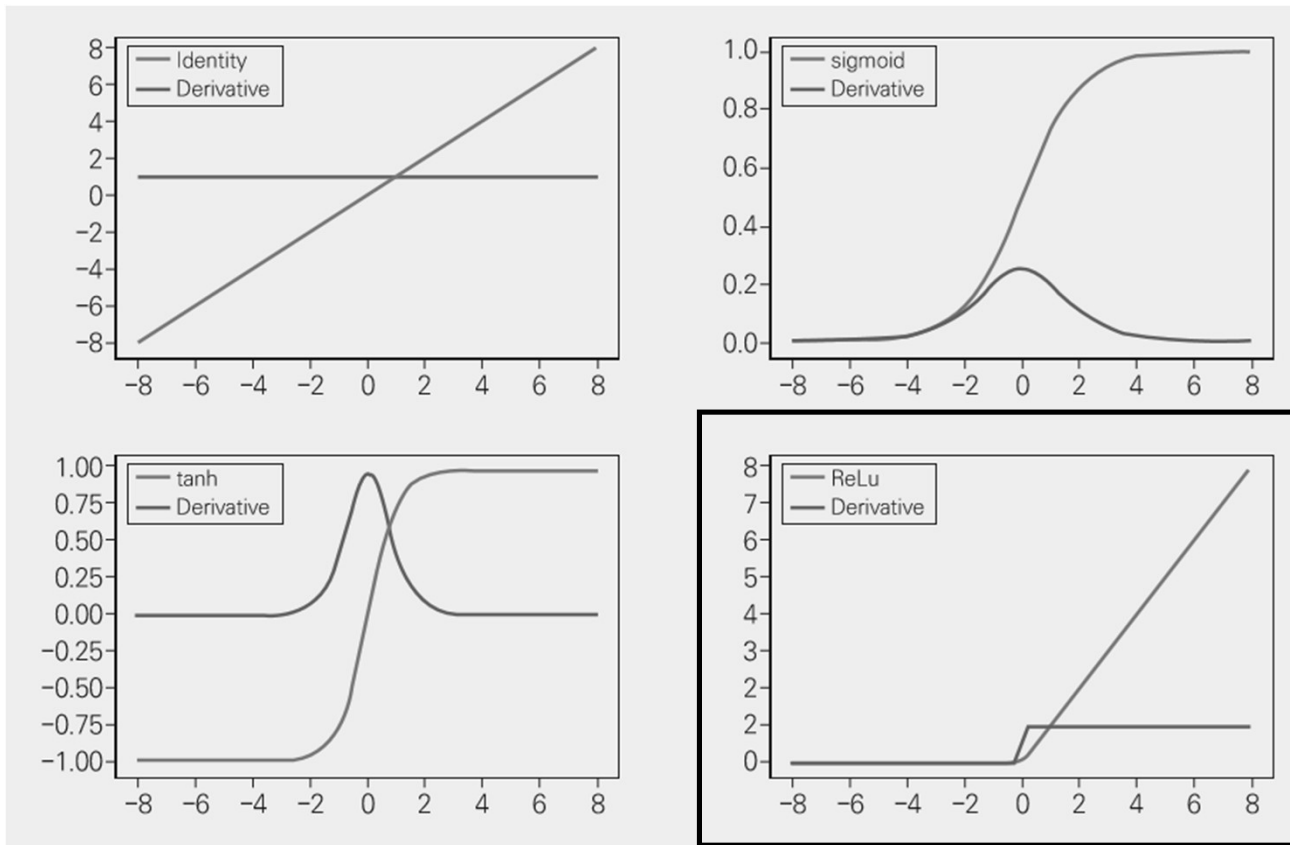
### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

## RNN의 경사폭발 - $\gamma_w$

$$\gamma_w = \|W^T\| = \|W\|$$

### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

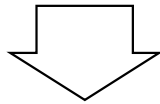
# RELU



### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

## TBTT (Truncated Backpropagation Through Time)

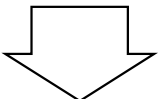
$$\frac{\partial E_s}{\partial W} = \sum_{t=1}^s \frac{\partial E_s}{\partial o_s} \cdot \frac{\partial o_s}{\partial h_s} \cdot \prod_{k=t}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial W}$$



$$\frac{\partial E_s}{\partial W} = \sum_{t=s-n}^s \frac{\partial E_s}{\partial o_s} \cdot \frac{\partial o_s}{\partial h_s} \cdot \prod_{k=t}^{s-1} \frac{\partial h_{k+1}}{\partial h_k} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial W}$$

### 3. 순환신경망의 학습과정의 문제점

## 경사 클리핑(gradient clipping)

$$W^{(t+1)} = W^{(t)} - \eta \cdot \underbrace{\frac{\partial L}{\partial W}}_g$$


$$W^{(t+1)} = W^{(t)} - \eta \cdot \left( \frac{\gamma}{|g|} \cdot g \right)$$

학습정리

- ✓ RNN은 자연어를 포함한 시계열 데이터를 분석하기 위해 고안된 신경망 구조이다.
- ✓ RNN은 학습 과정에서 경사소실/경사폭발의 문제가 있다.
- ✓ 이를 해결하기 위한 방법들로 TBTT, 경사 클리핑 등의 방법들이 이용된다.



딥러닝의 통계적이해  
다음시간안내

## 12강. 순환신경망 (2)