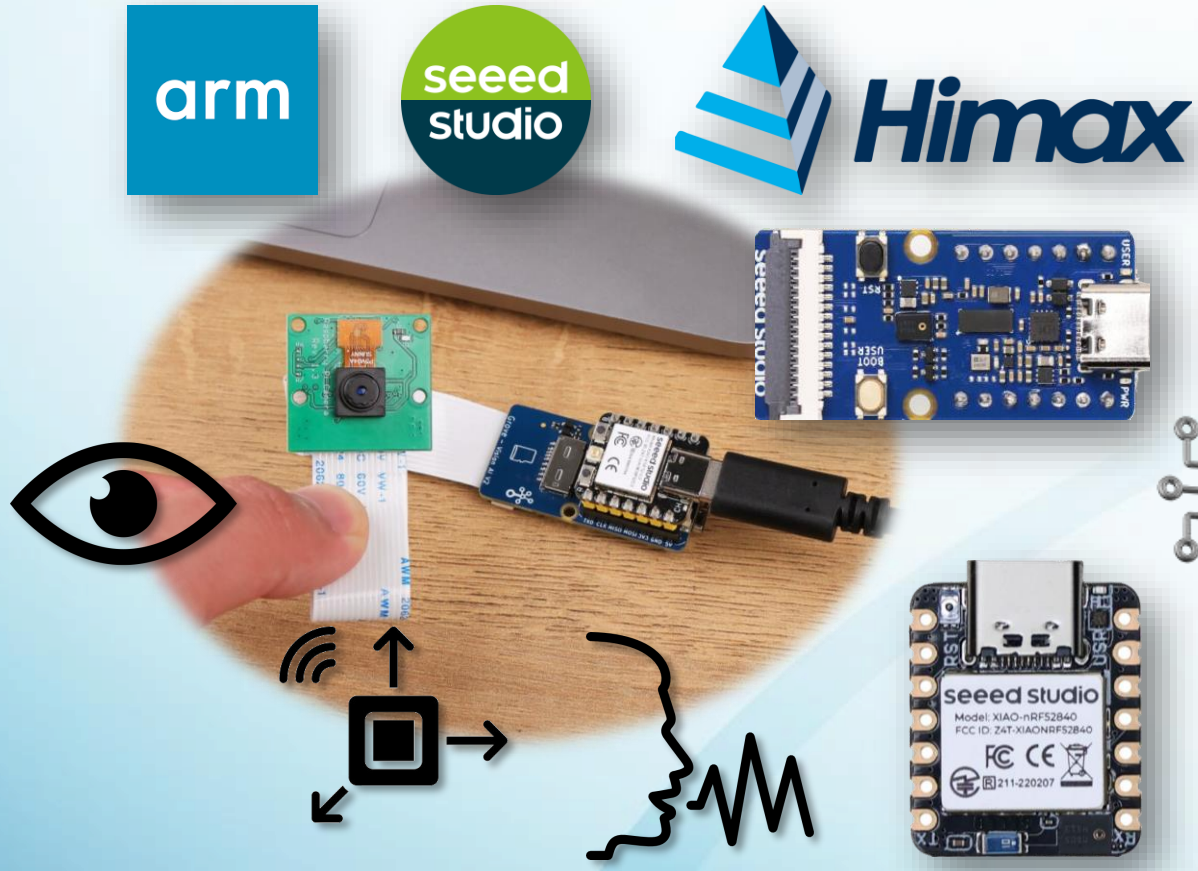
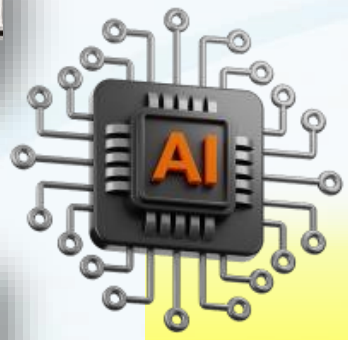
OmniXRI TinyML 小學堂 2025





Cortex-M Processor

Ethos-U MicroNPU

【第 3 講】
微型人工智慧基礎

歐尼克斯實境互動工作室 (OmniXRI Studio)
許哲豪 (Jack Hsu)

簡報大綱

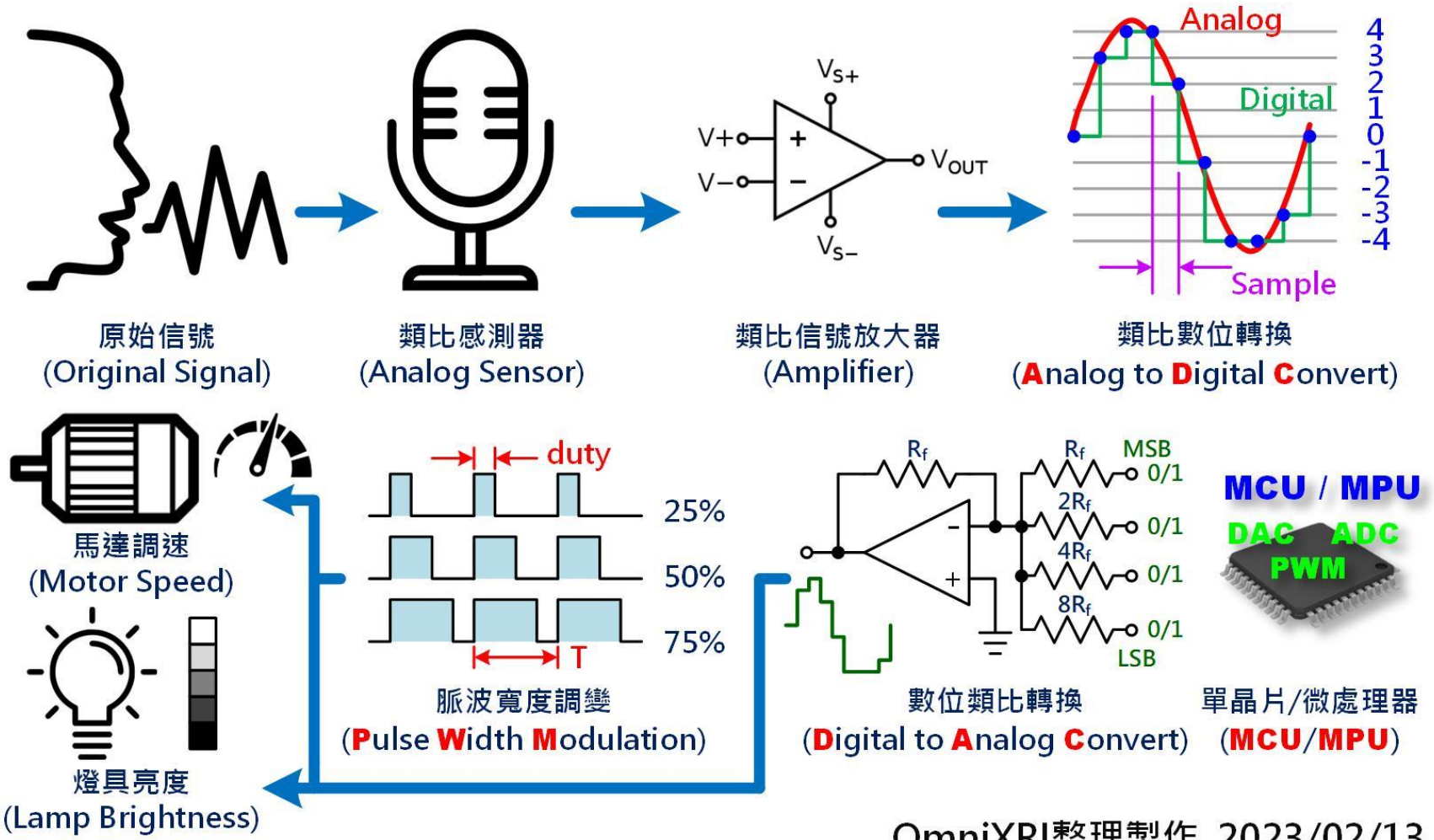
- 3.1. 數字系統
- 3.2. 機器學習算法 (ML)
- 3.3. 卷積神經網路算法 (CNN)
- 3.4. 循環神經網路算法 (RNN)

本課程完全免費，請勿移作商業用途！
歡迎留言、訂閱、點讚、轉發，讓更多需要的朋友也能一起學習。

完整課程大綱： https://omnixri.blogspot.com/2025/03/omnixri-tinyml-2025-0.html
課程直播清單： https://www.youtube.com/@omnixri1784/streams

3.1. 數字系統

類比與數位系統



資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

數位系統如何表示數字

數字表示方式

	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0
10進制 (Dec)	0	0	0	0	0	2	3	6
	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
2進制 (Bin)	1	1	1	0	1	1	0	0
	16^7	16^6	16^5	16^4	16^3	16^2	16^1	16^0
16進制 (Hex)	0	0	0	0	0	0	E	C

不同進制轉成10進制

$2*10^2+3*10^1+6*10^0$
= 236 (Dec)

$1*2^7+1*2^6+1*2^5+0*2^4+$
$1*2^3+1*2^2+0*2^1+0*2^0$
= 236 (Dec)

$14*16^1+12*16^0$
= 236 (Dec)

10進制轉成2進制

OmniXRI整理製作, 2023/02/13

資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

整數 (INT)

整數常用名稱及表示範圍

AI用名	C/C++名稱	Byte	數值範圍
INT8	char	1	-128 ~ +127
	unsigned char	1	0 ~ +255
INT16	Short (Short int)	2	-32,768 ~ +32,767
	unsigned short	2	0 ~ +65,535
INT32	Int (long int)	4	-2,147,483,648 ~ +2,147,483,647
	unsigned int	4	0 ~ +4,294,967,295
INT64	long long	8	-9,223,372,036,854,775,808 ~ +9,223,372,036,854,775,807
	unsigned long long	8	0 ~ +18,446,744,073,709,551,615

負（整）數表示法

最高位元

BIN	DEC
00000010	2
00000001	1
00000000	0
10000001	-1
10000010	-2

1的補數

BIN	DEC
00000010	2
00000001	1
00000000	0
11111110	-1
11111101	-2

2的補數（1的補數加1）

BIN	DEC
00000010	2
00000001	1
00000000	0
11111111	-1
11111110	-2

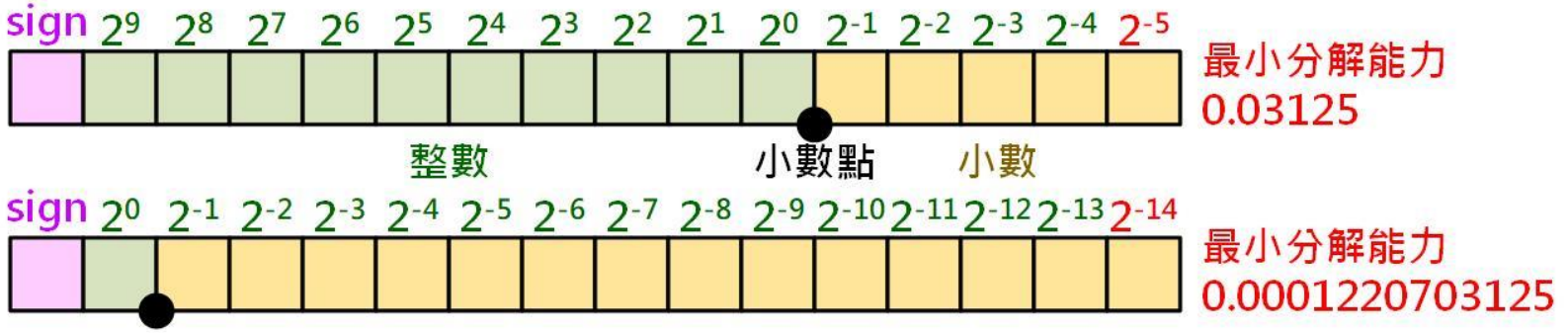
OmniXRI整理製作, 2023/02/13

資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

定點數 (Q) 與 浮點數 (FP)

Qm,n = [-(2^m-1) , 2^m-1-2^-n] 二進制定點數表示法

定點計算好處為速度快，硬體結構簡單，
程式容易移植到沒有硬體浮點處理器。



常見Q格式
Q31
Q15
Q7

二進制浮點數表示法 (IEEE 754)

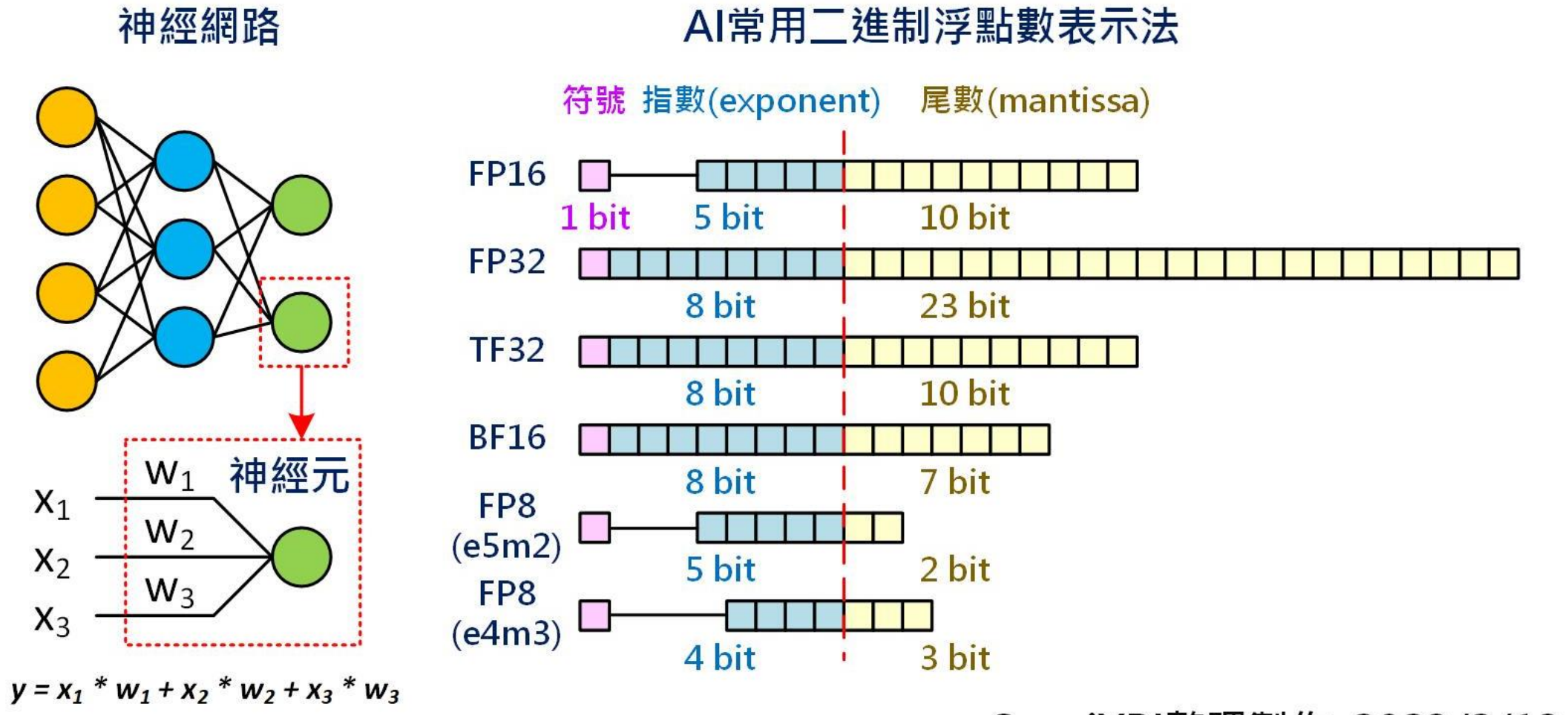
$a * 10^n = a * e^n$

a: 實數(小數), n: 指數

OmniXRI整理製作, 2023/2/13

資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

AI 常用浮點表示法



資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

低位元浮點數 (FP8 / FP4)

FP8

動態範圍小，數值精度高，適合推理用

動態範圍大，數值精度低，適合訓練用

	E4M3	E5M2
Exponent bias	7	15
Infinities	N/A	$S.11111.00_2$
NaN	$S.1111.111_2$	$S.11111.\{01, 10, 11\}_2$
Zeros	$S.0000.000_2$	$S.00000.00_2$
Max normal	$S.1111.110_2 = 1.75 * 2^8 = 448$	$S.11110.11_2 = 1.75 * 2^{15} = 57,344$
Min normal	$S.0001.000_2 = 2^{-6}$	$S.00001.00_2 = 2^{-14}$
Max subnorm	$S.0000.111_2 = 0.875 * 2^{-6}$	$S.00000.11_2 = 0.75 * 2^{-14}$
Min subnorm	$S.0000.001_2 = 2^{-9}$	$S.00000.01_2 = 2^{-16}$

UINT4

FP4

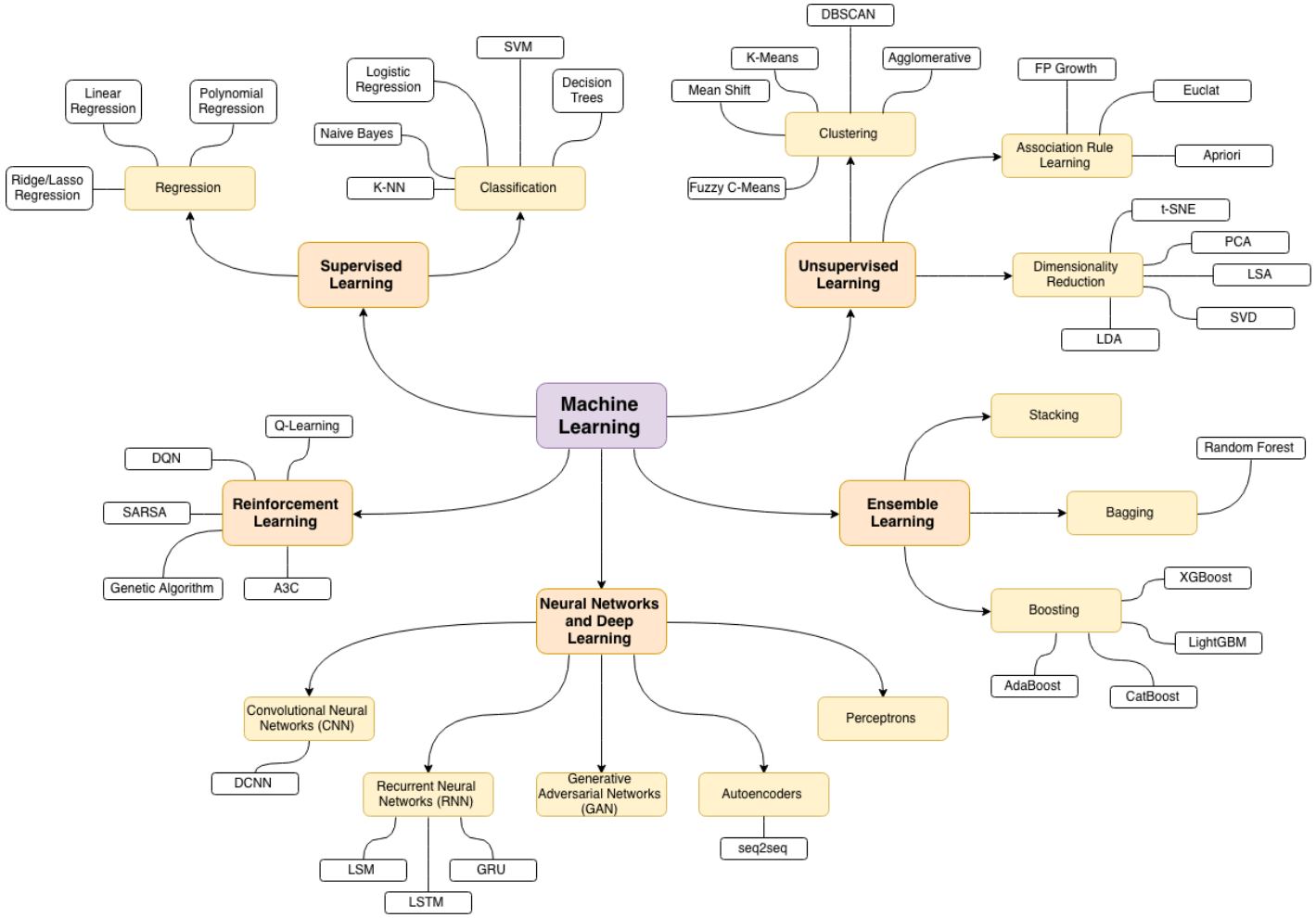
Table 1: Numbers represented in FP4-E2M1 with NaN and Inf (IEEE 754 standard) and Numbers represented in FP4-E2M1 without NaN and Inf (Our design).

UINT4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FP4 w/ NaN&Inf	0	0.5	1	1.5	2	3	Inf	NaN	-0	-0.5	-1	-1.5	-2	-3	Inf	NaN
FP4 w/o NaN&Inf	0	0.5	1	1.5	2	3	4	6	-0	-0.5	-1	-1.5	-2	-3	-4	-6

資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2024/03/nvidia-gtc-2024-fp8fp4-ai.html

3.2. 機器學習算法 (ML)

機器學習地圖

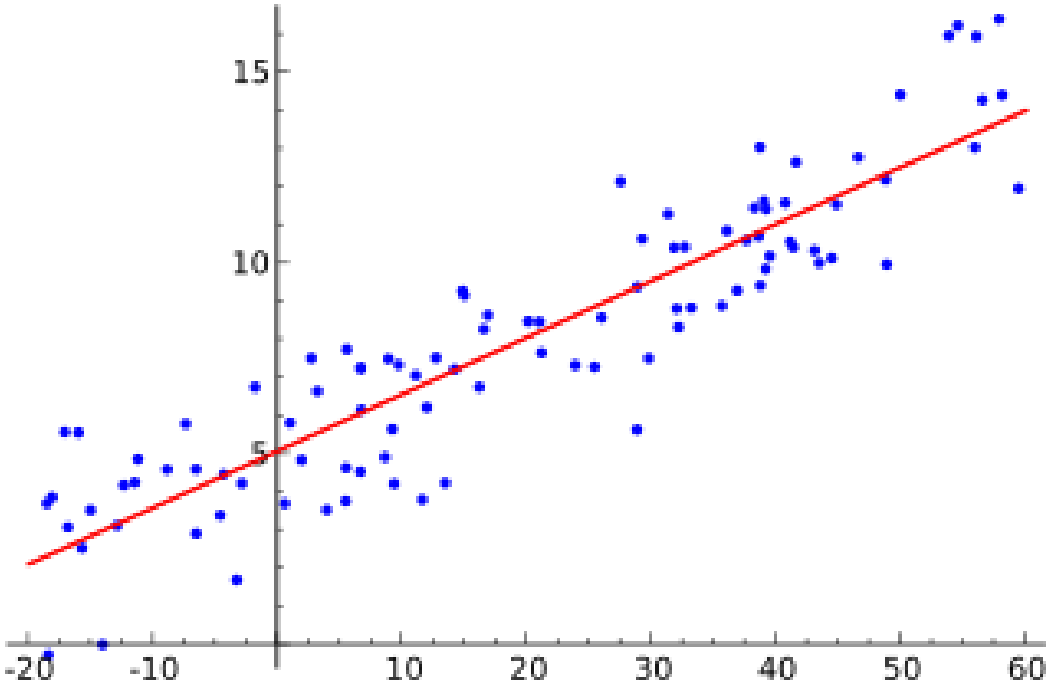


資料來源：https://softnshare.com/machine-learning-deeplearning-ai-learning-map/

機器學習

- 監督式
  - 迴歸、分類
- 非監督式
  - 聚類、降維、關聯規則學習
- 增強式學習（強化學習）
  - Q-Learning ...
- 神經網路（深度學習）
  - 感知機、CNN, RNN, GAN, AE
- 整體學習（集成學習）
  - Stacking, Bagging, Boosting

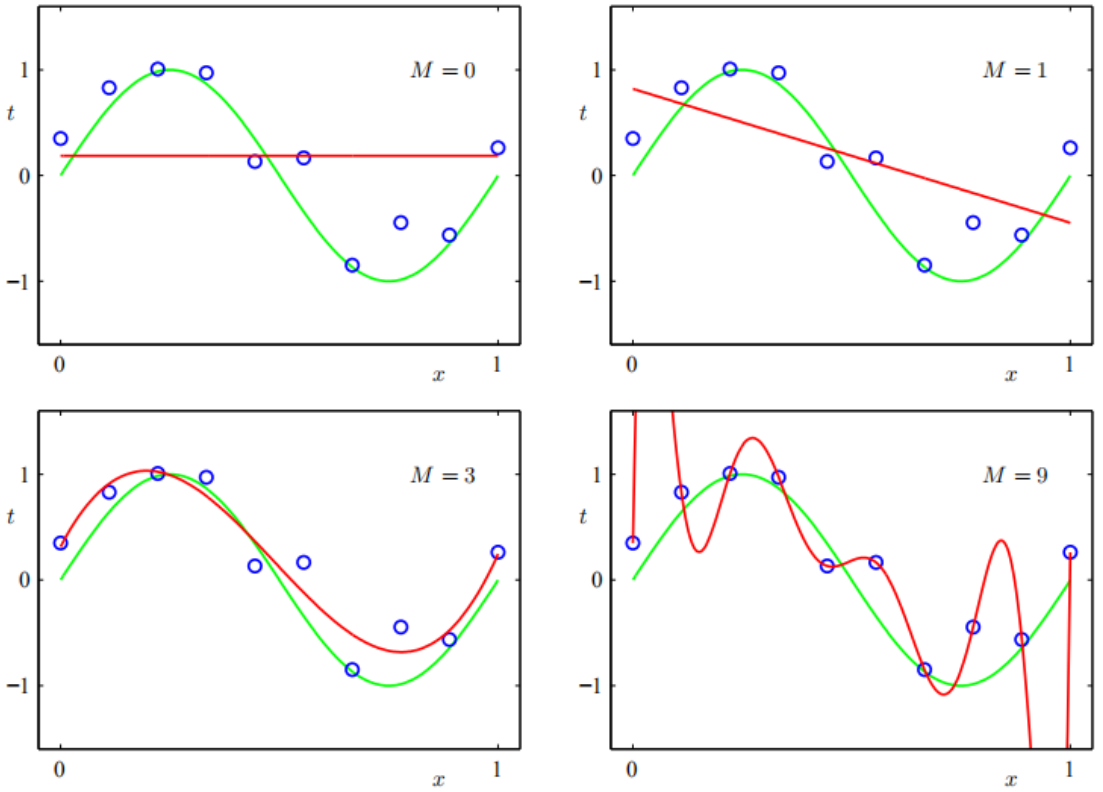
機器學習 — 線性（多項式）迴歸



y = ax + b

斜率　偏置量

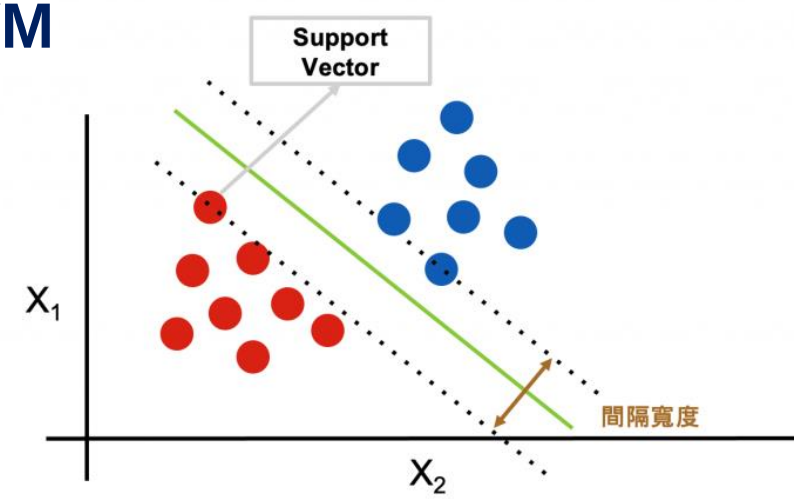
多項式擬合



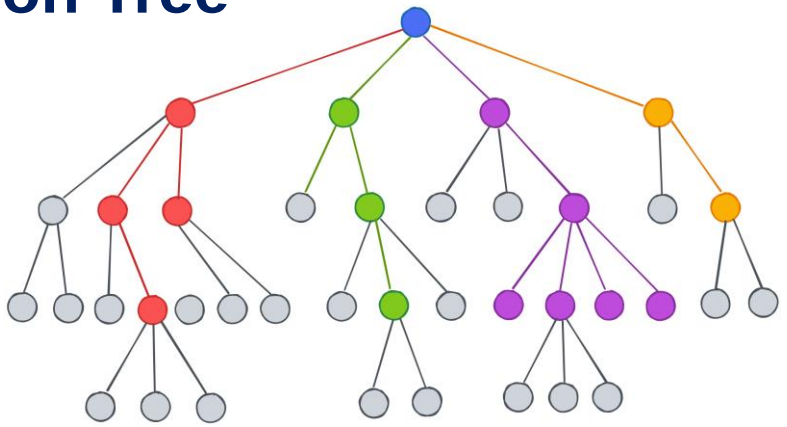
$$y(x, \boldsymbol{w}) = w_0 + w_1 x + w_2 x^2 + \ldots + w_M x^M = \sum_{j=0}^{M} w_j x^j$$

機器學習 – 分類

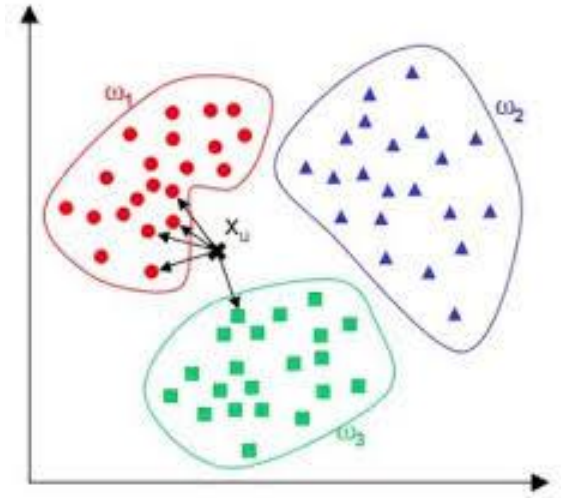
SVM



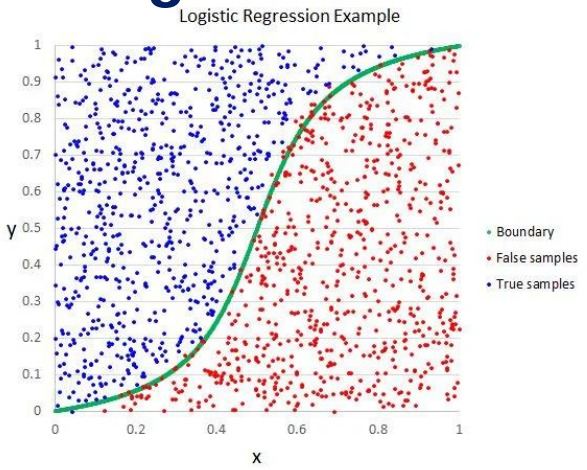
Decision Tree



KNN

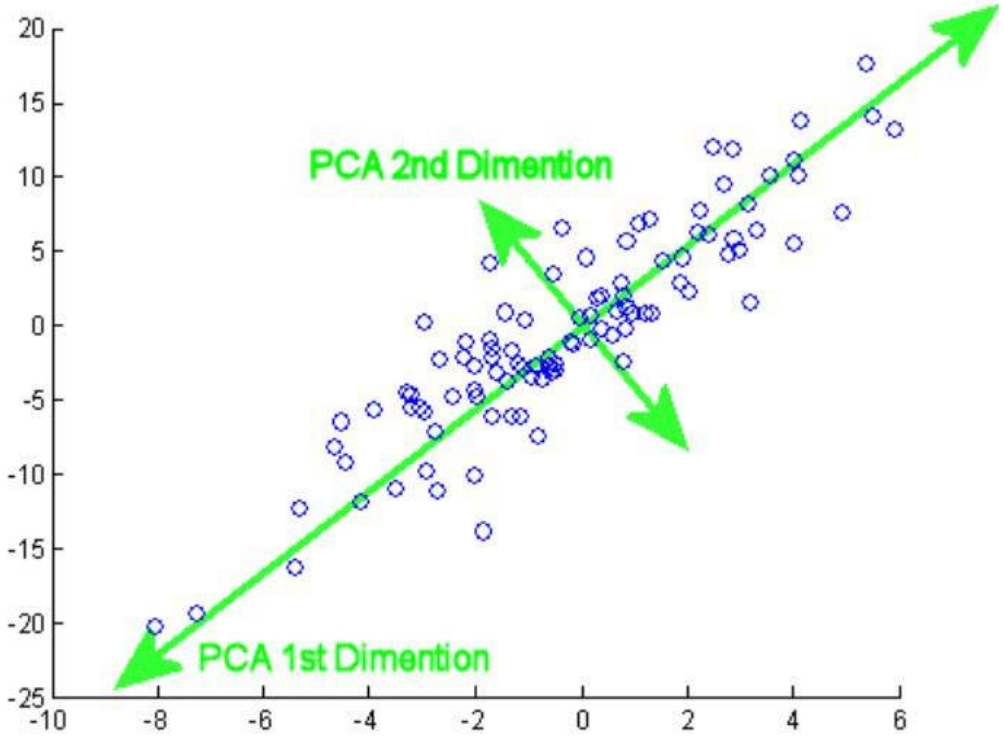


Logistic Regression

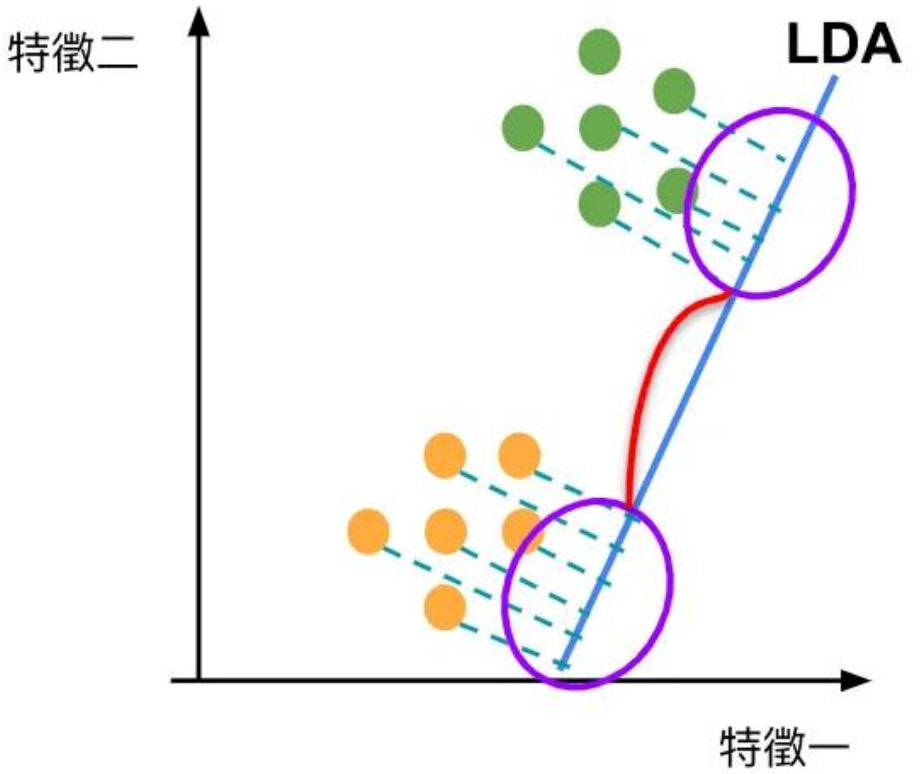


機器學習 — 降維

主成分分析 (PCA)
(Principal Component Analysis)

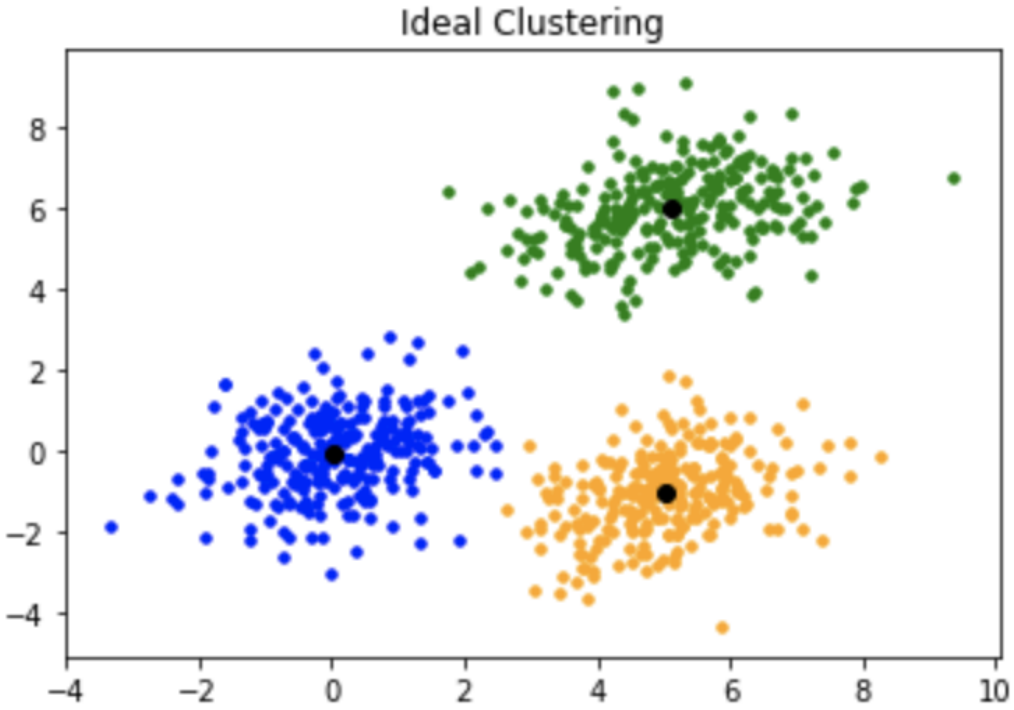


線性區別分析 (LDA)
(Linear Discriminant Analysis)

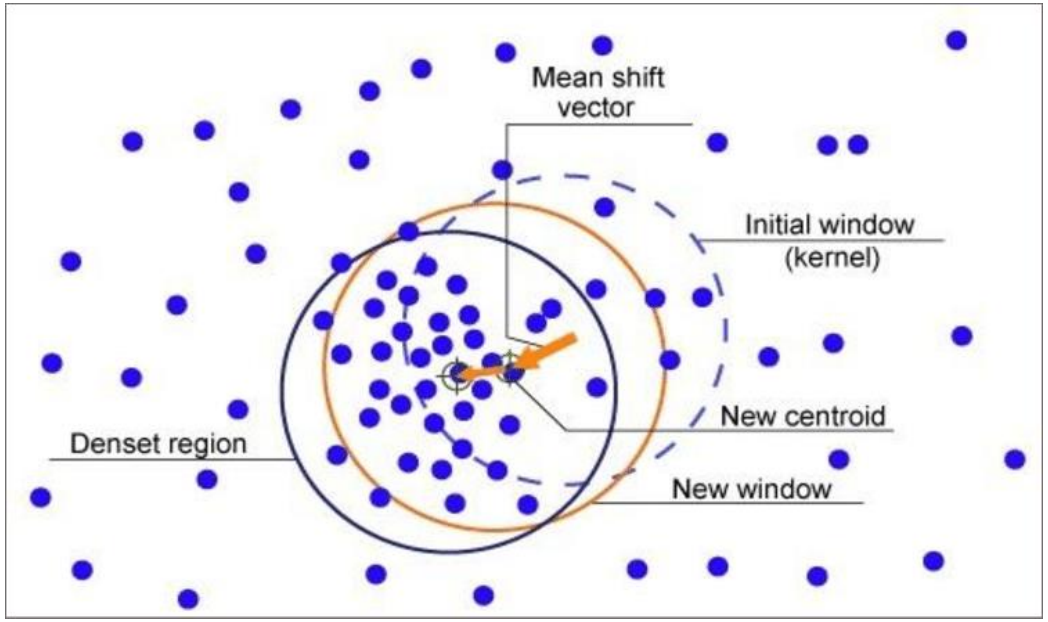


機器學習 — 聚類

K類平均 (K-Mean)
基於質心聚類

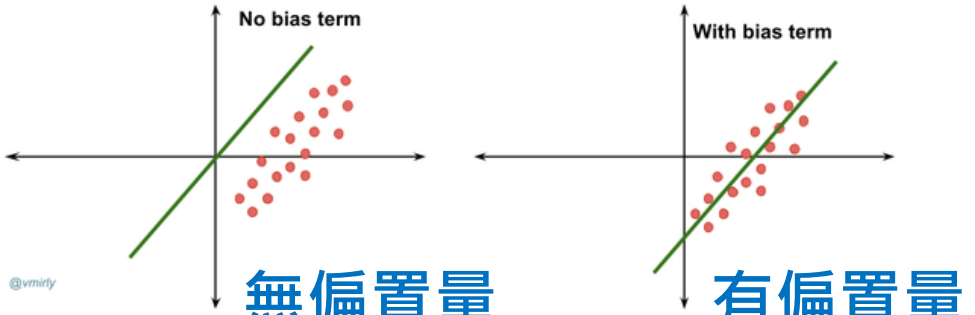


平均移動 (Mean-Shift)
基於密度聚類

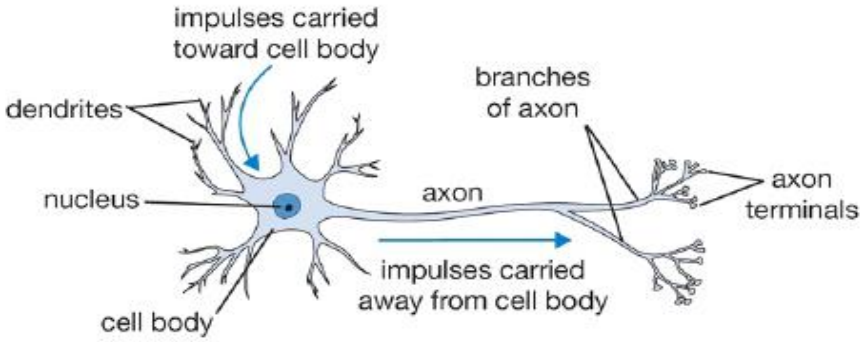


3.3. 卷積神經網路算法 (CNN)

神經網路（NN）– 神經元

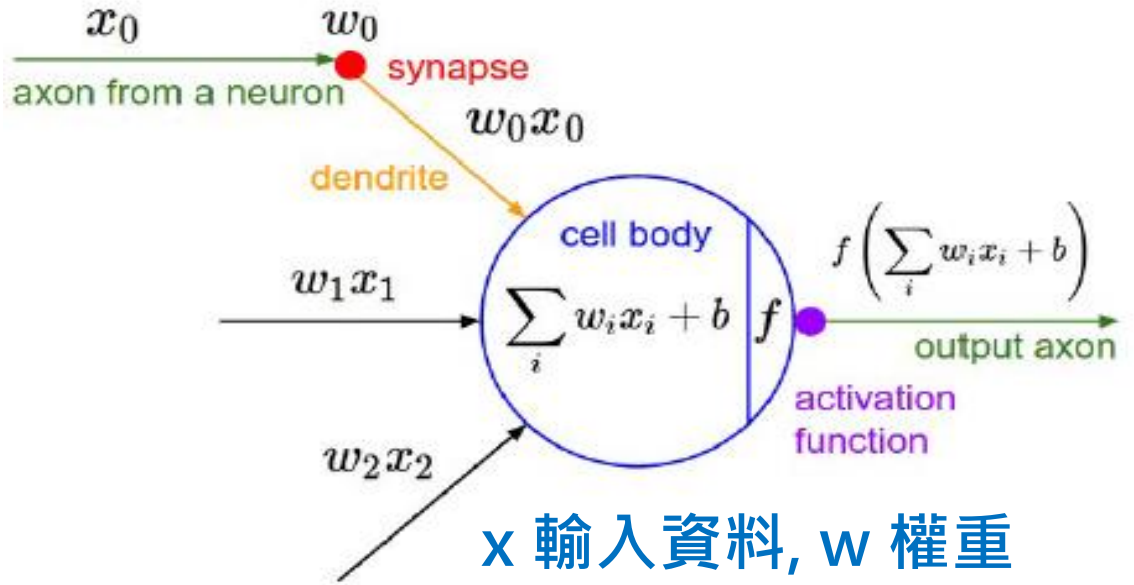


生物神經元



無偏置量

有偏置量

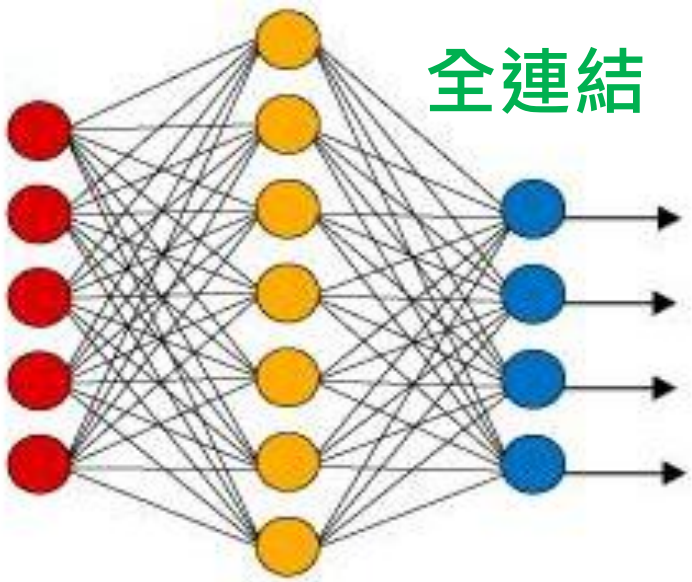


x 輸入資料, w 權重
b 偏置量,　f 激活函數

資料來源：http://blog.csdn.net/cyh_24/article/details/50593400

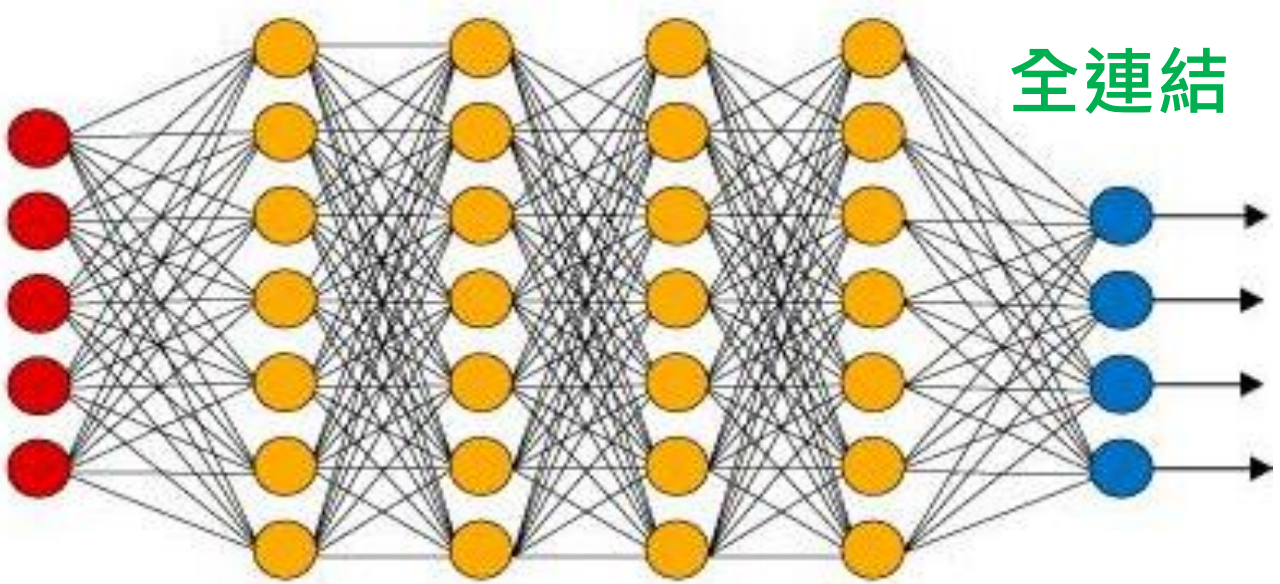
神經網路（NN）－深度神經網路

(A)NN



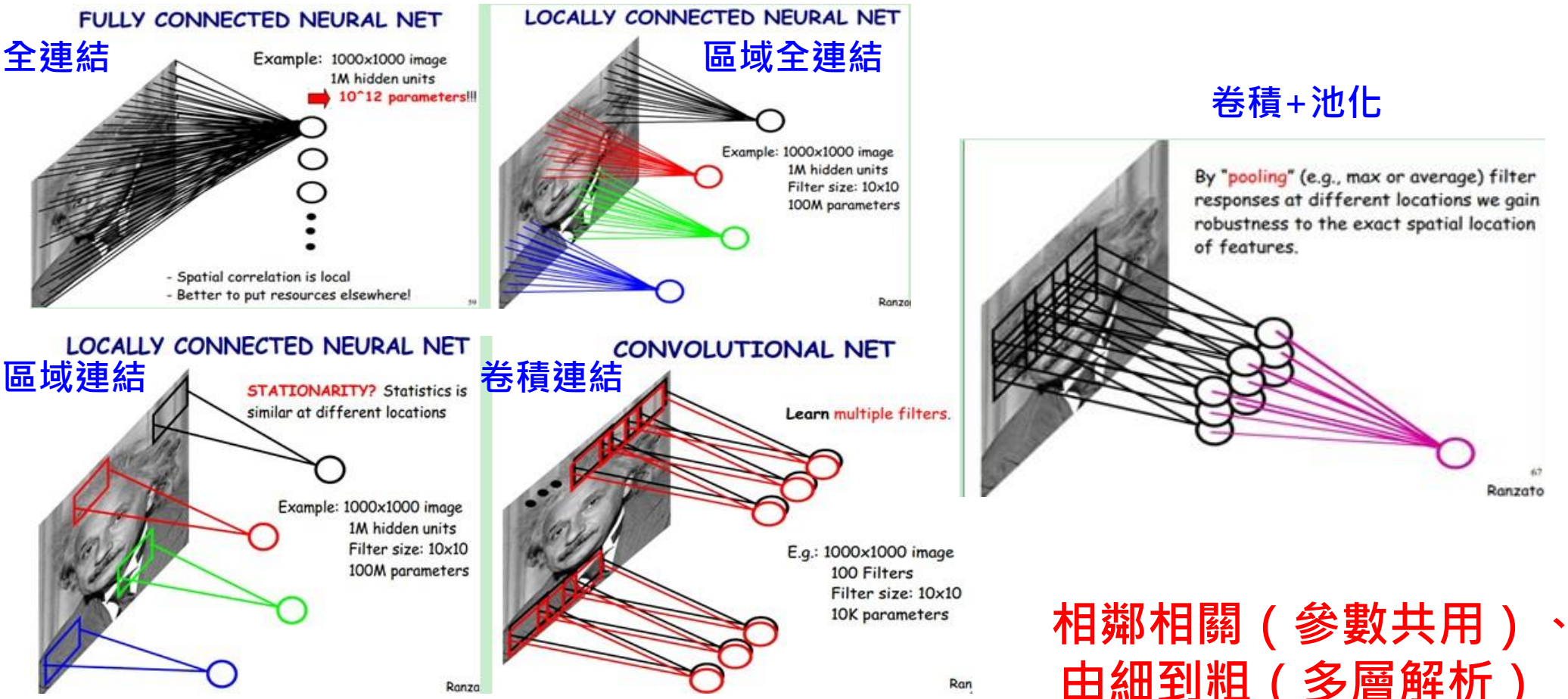
輸入層　隱藏層　輸出層

DNN



輸入層　隱藏層　輸出層

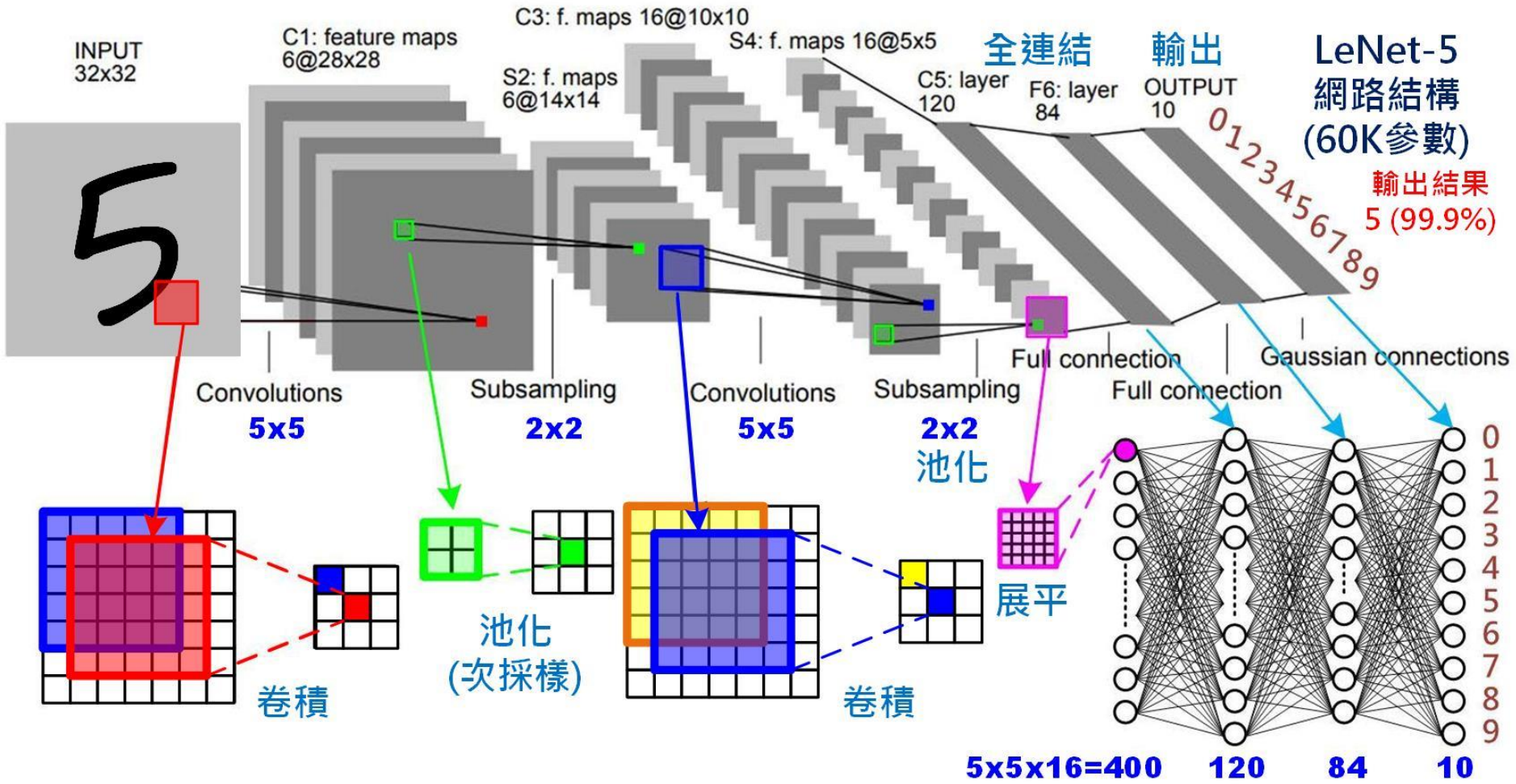
卷積神經網路 – CNN 演化



相鄰相關（參數共用）、
由細到粗（多層解析）

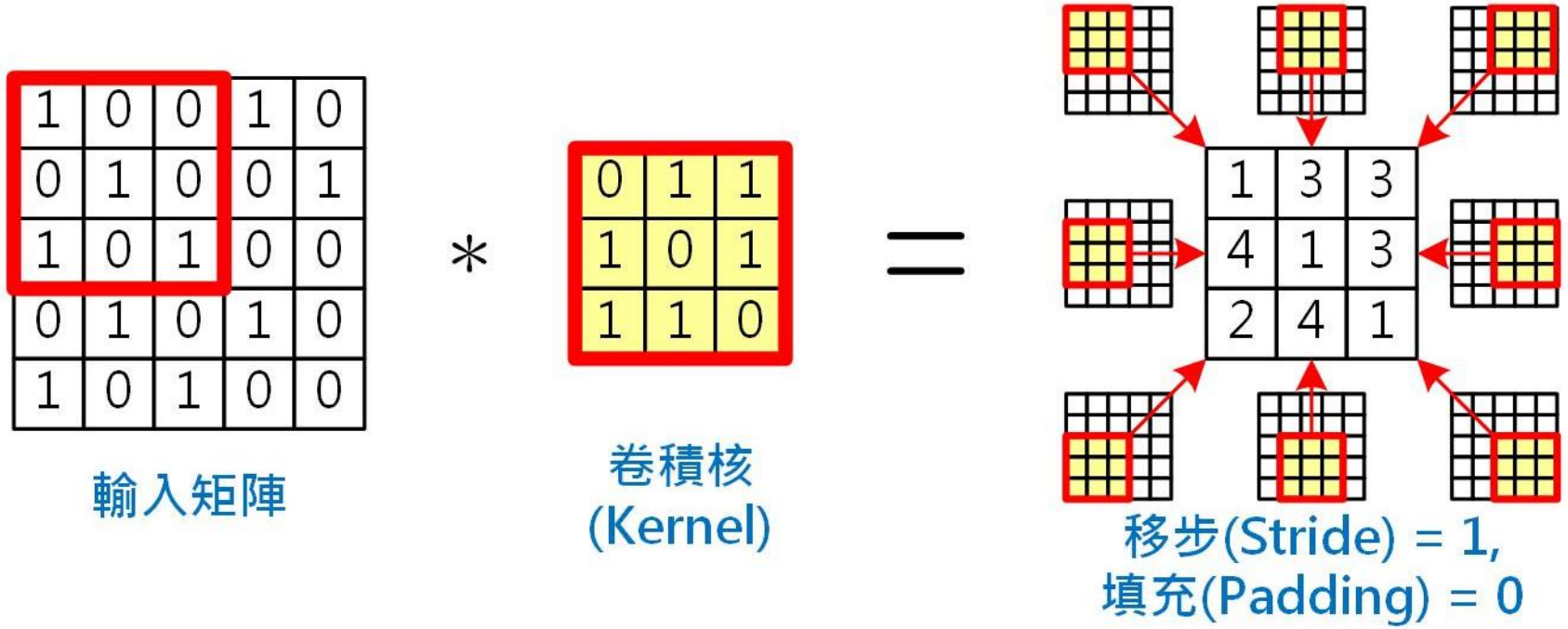
資料來源：http://blog.csdn.net/zouxy09/article/details/8781543

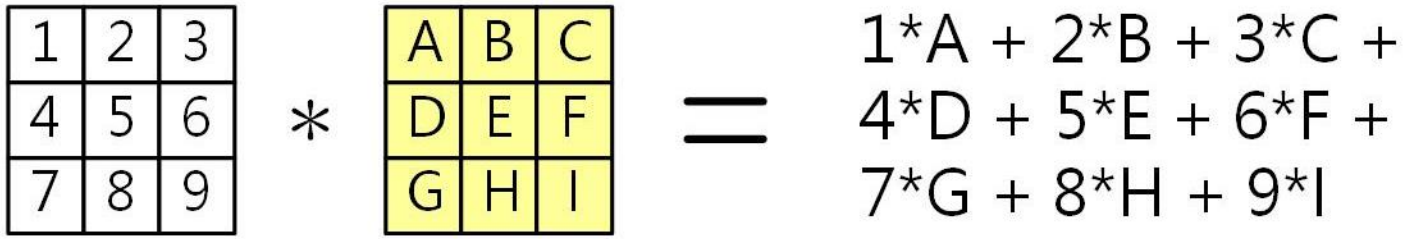
卷積神經網路 – LeNet-5



資料來源：http://omnixri.blogspot.com/2018/06/blog-post.html

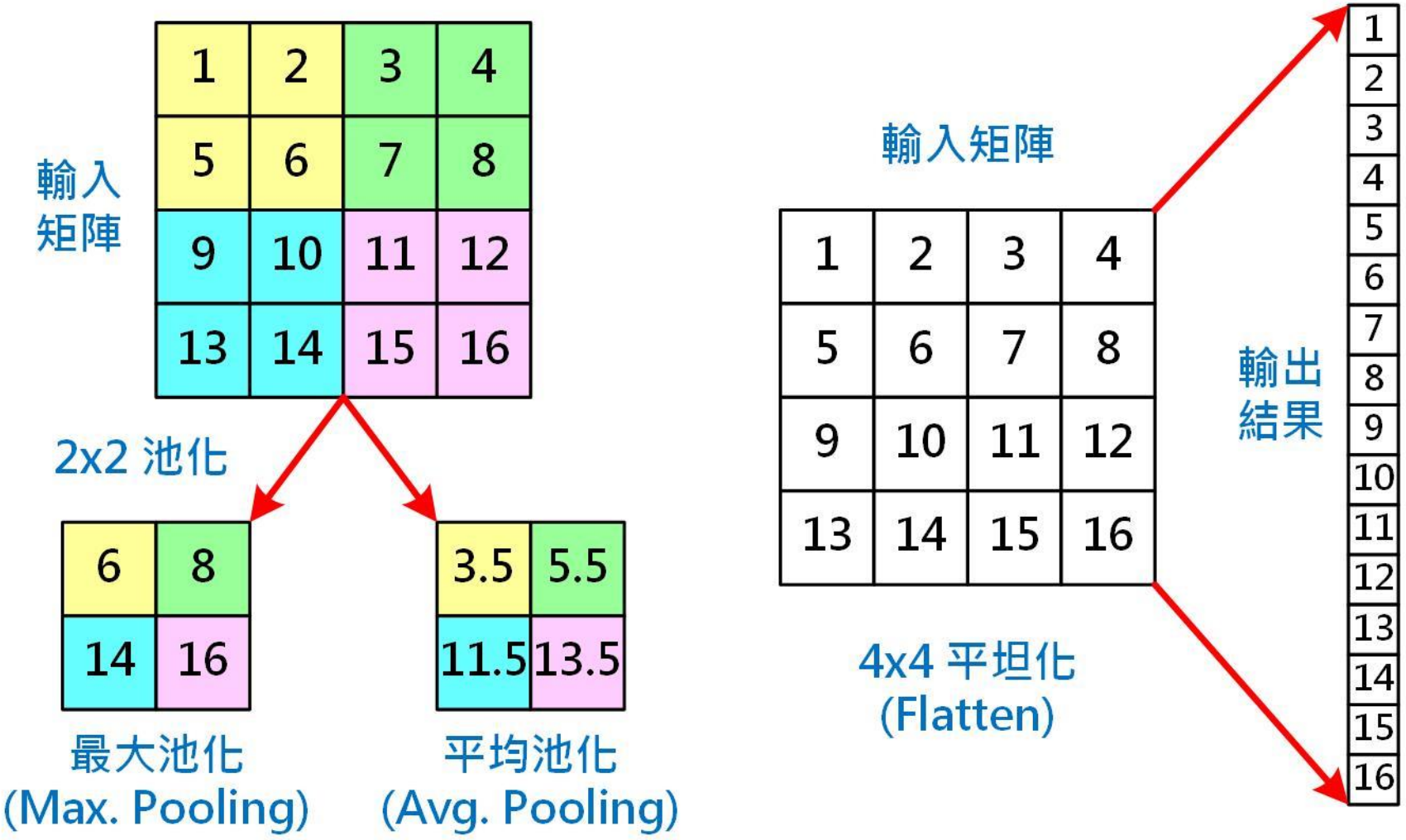
卷積神經網路 – 卷積



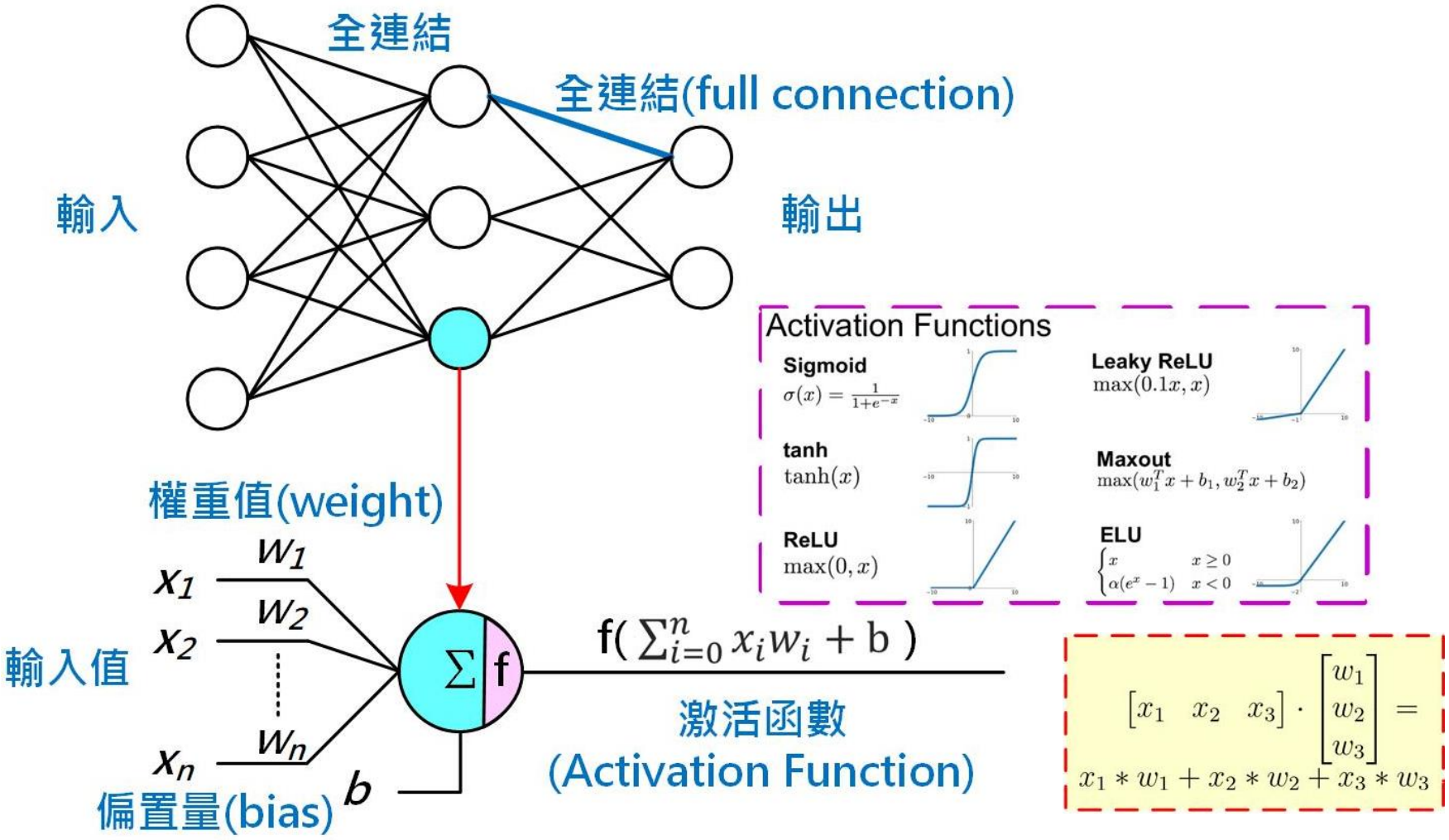


*** 相當於Python numpy 的矩陣各元素相乘 a*b 而非矩陣點乘 a.dot(b)**

卷積神經網路 – 池化、平坦化



卷積神經網路 – 全連結

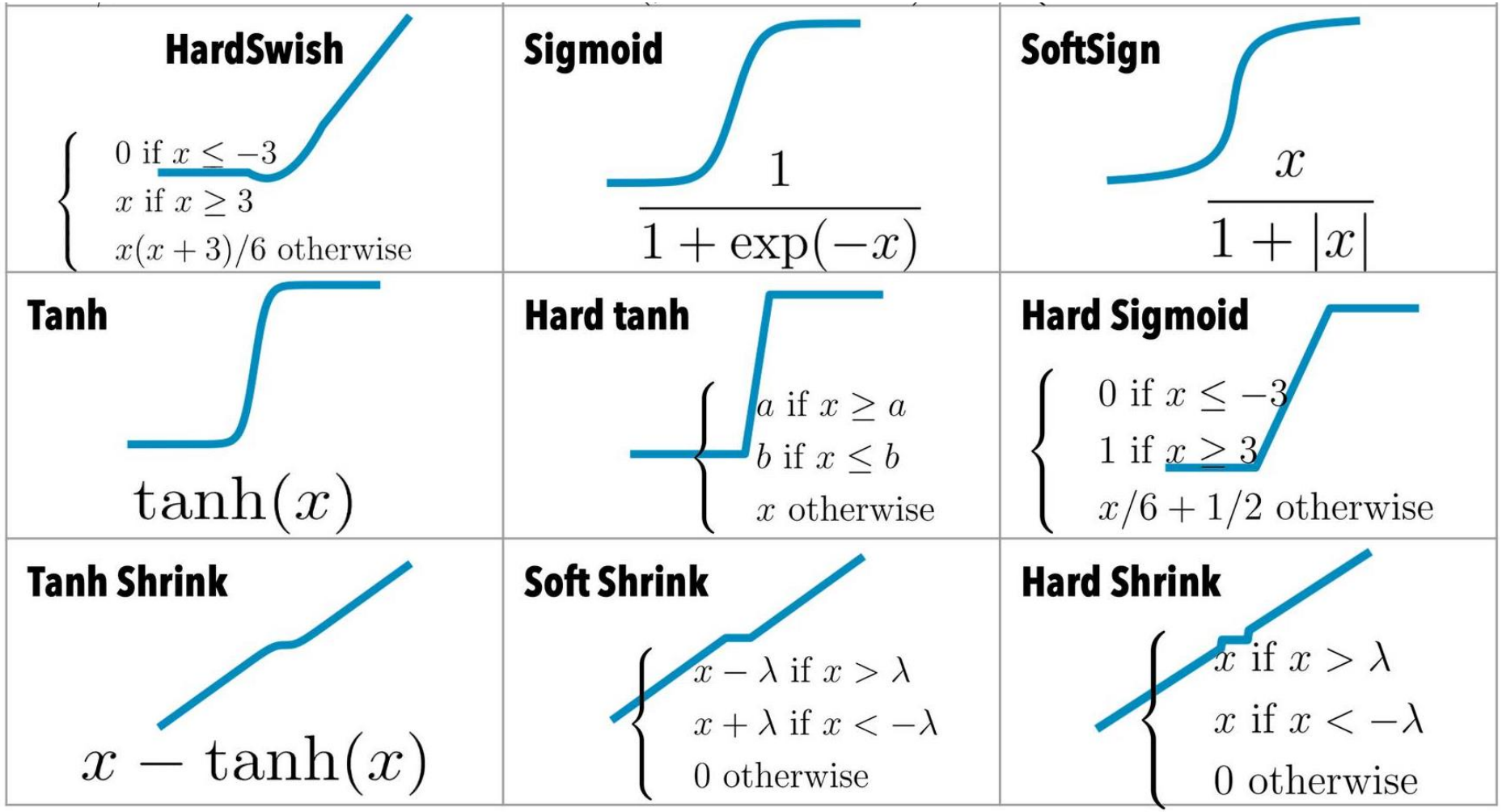


*** 相當於Python numpy 的矩陣點乘 a.dot(b) 而非矩陣各元素相乘的 a*b**

卷積神經網路 – 激活函數(1/2)

ReLU $\max(0, x)$	**GELU** $\frac{x}{2}\left(1+\tanh\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(x+ax^3\right)\right)\right)$	**PReLU** $\begin{cases} y = x & if\ x > 0 \\ y = ax & if\ x \leq 0 \end{cases}$
ELU $\begin{cases} x \text{ if } x > 0 \\ \alpha(x \exp x - 1) \text{ if } x < 0 \end{cases}$	**Swish** $\frac{x}{1+\exp -x}$	**SELU** $\alpha(\max(0, x)+$ $\min(0, \beta(\exp x - 1)))$
SoftPlus $\frac{1}{\beta}\log\left(1+\exp(\beta x)\right)$	**Mish** $x\tanh\left(\frac{1}{\beta}\log\left(1+\exp(\beta x)\right)\right)$	**RReLU** $\begin{cases} x \text{ if } x \geq 0 \\ ax \text{ if } x < 0 \text{ with } a \sim \Re(l, u) \end{cases}$

卷積神經網路 – 激活函數(2/2)



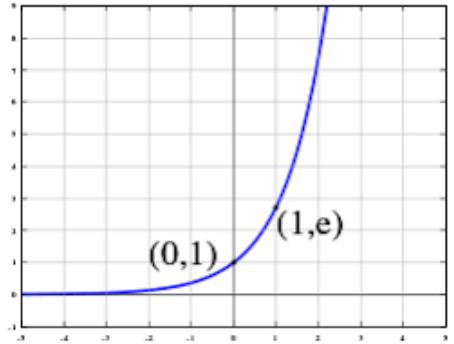
卷積神經網路 – 輸出函數

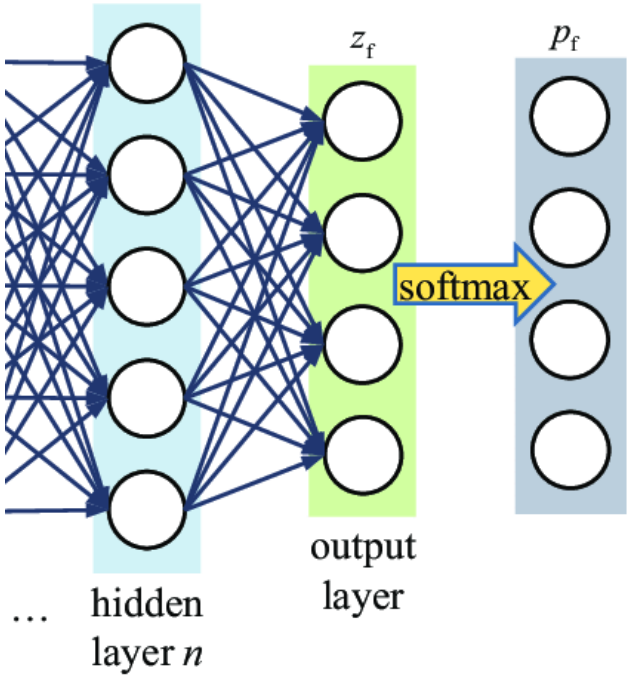
softmax()

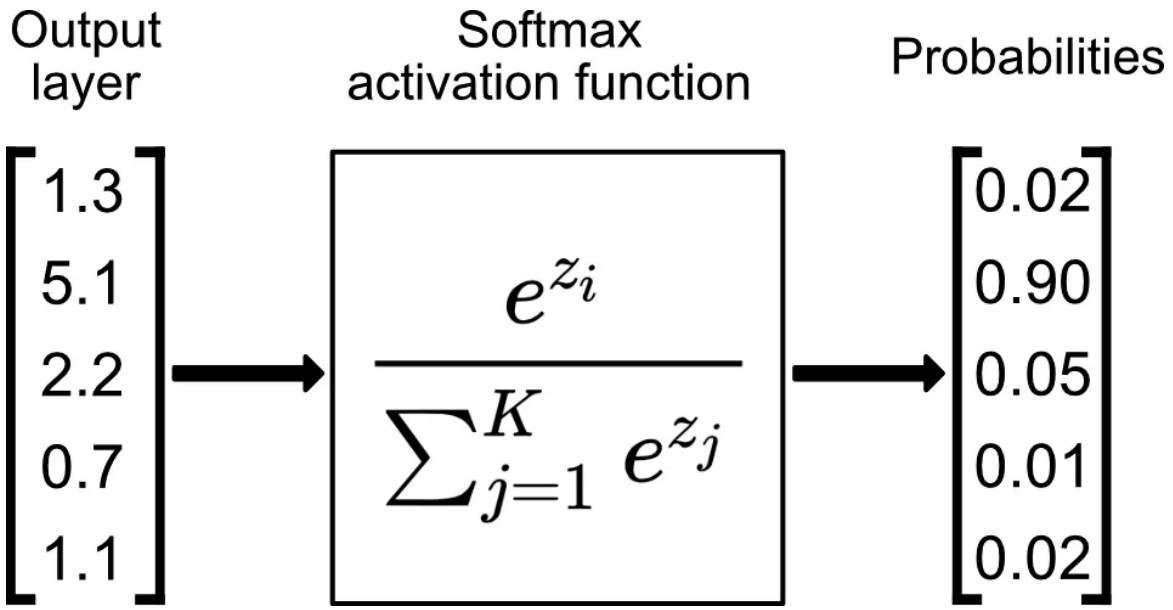
歸一化指數函數
將所有發生機率
壓縮到0~1之間

exp()

以自然常數e為底
的指數函數







卷積神經網路 – 權重與計算量

Layer Name	Input W×H×D	Kernel W×H×D/S	Output W×H×D	Params	Mults
C1: conv2d	32×32×1	5×5×6	28×28×6	1×5×5×6+6 =156	28×28×1×5×5×6 =117,600
S2: pool/2	28×28×6	2×2/2	14×14×6	0	0
C3: conv2d	14×14×6	5×5×16	10×10×16	6×5×5×16+16 =2,416	10×10×6×5×5×16 =240,000
S4: pool/2	10×10×16	2×2/2	5×5×16	0	0
C5: conv2d	5×5×16	5×5×120	1×1×120	16×5×5×120+120 =48,120	1×1×16×5×5×120 =48,000
F6: conv2d	1×1×120	1×1×84	1×1×84	120×1×1×84+84 =10,164	120×84 =10,080
F7: conv2d	1×1×84	1×1×10	1×1×10	84×1×1×10+10 =850	84×40 =840
			Total	61,706	416,520

LeNet-5 模型結構

圖片來源：
https://www.researchgate.net/publication/329970273_Image_recognition_by_knowledge_transfer_using_Deep_Convolutional_Neural_Network

3.4. 循環神經網路算法 (RNN)

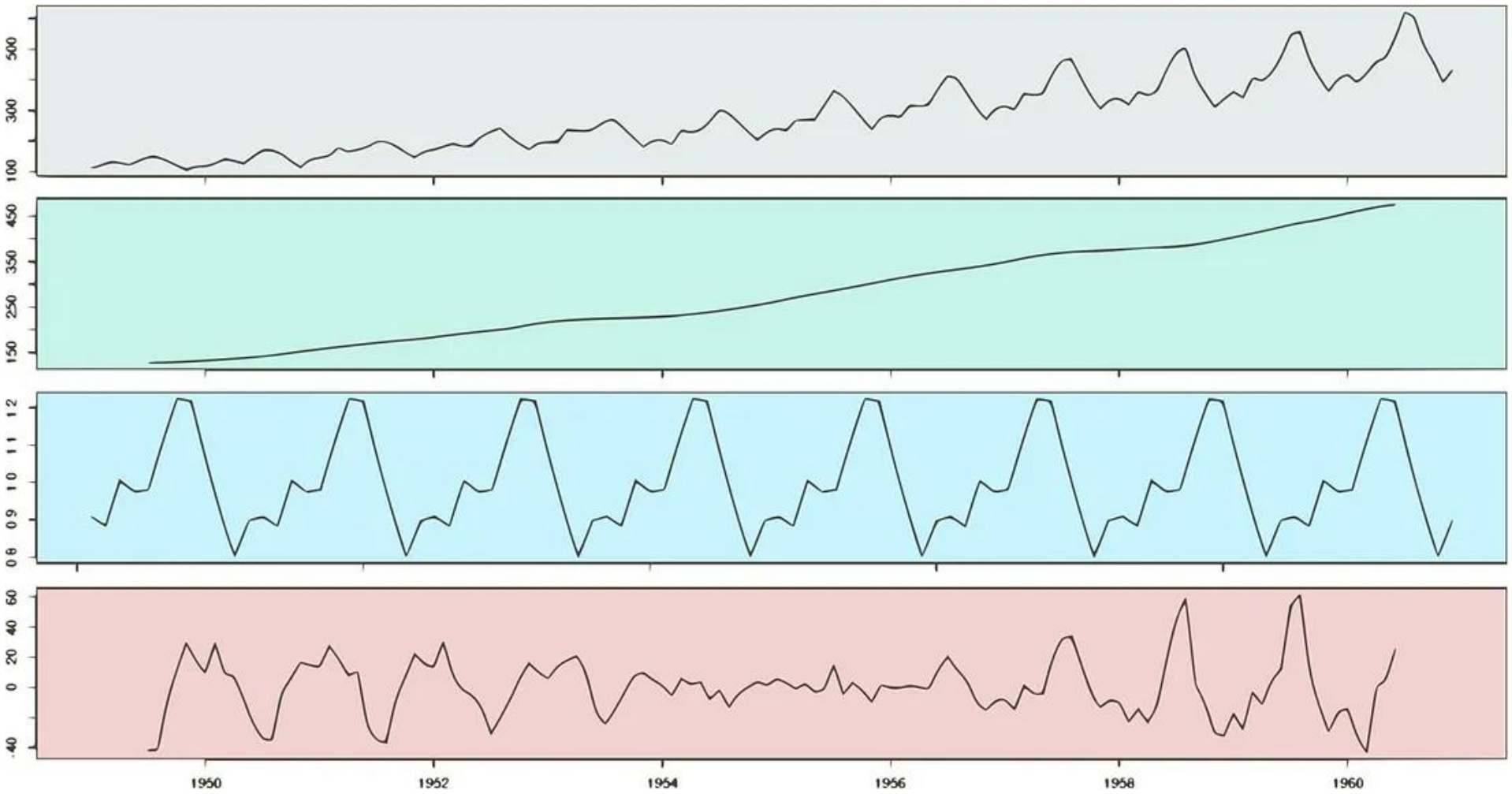
時間序列與分解

原始數據

趨勢

季節性
（週期）

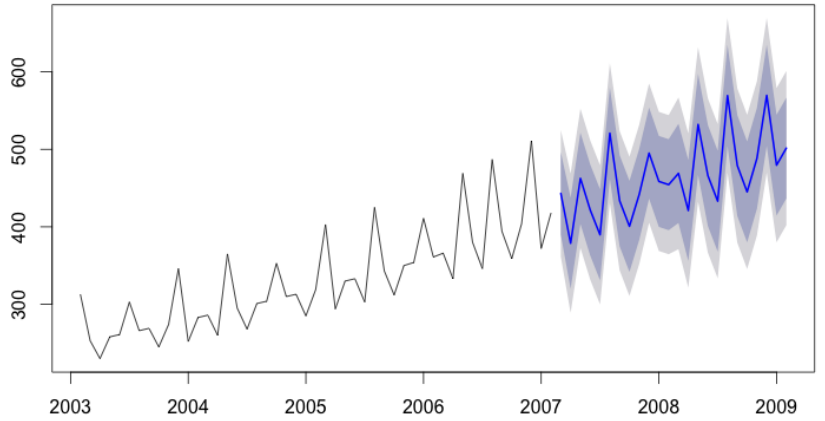
殘差



資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2020/06/ai-hub.html

傳統時序預測

回歸（預測）、分類？



(a)自迴歸模型 (AR)

$$X_t = c + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

(b)向量自迴歸模型 (VAR)

$$y_t = c + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \cdots + A_p y_{t-p} + e_t$$

(c)移動平均模型 (MA)

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - -\theta_q \varepsilon_{t-q}$$

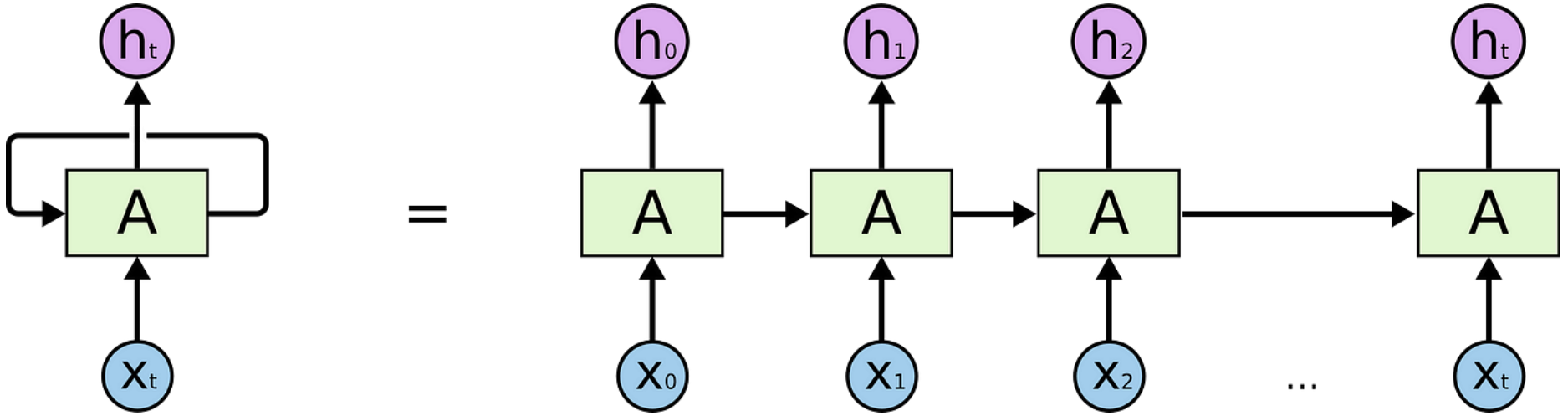
(d)AR/MA混合模型 (ARIMA)

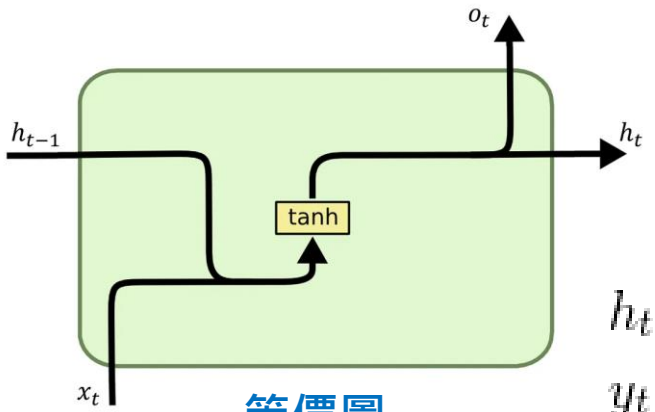
$$\left(1 - \sum_{i=1}^{p} \phi_i L^i\right) (1 - L)^d X_t = \left(1 + \sum_{i=1}^{q} \theta_i L^i\right) \varepsilon_t$$

資料來源：https://omnixri.blogspot.com/2020/06/ai-hub.html

循環神經網路 – RNN

Recurrent neural network, RNN



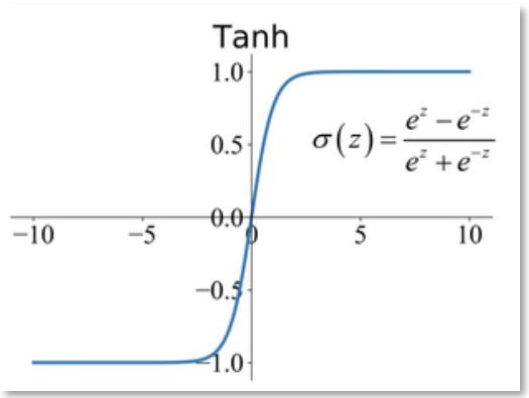


等價圖

~~遞歸神經網路~~

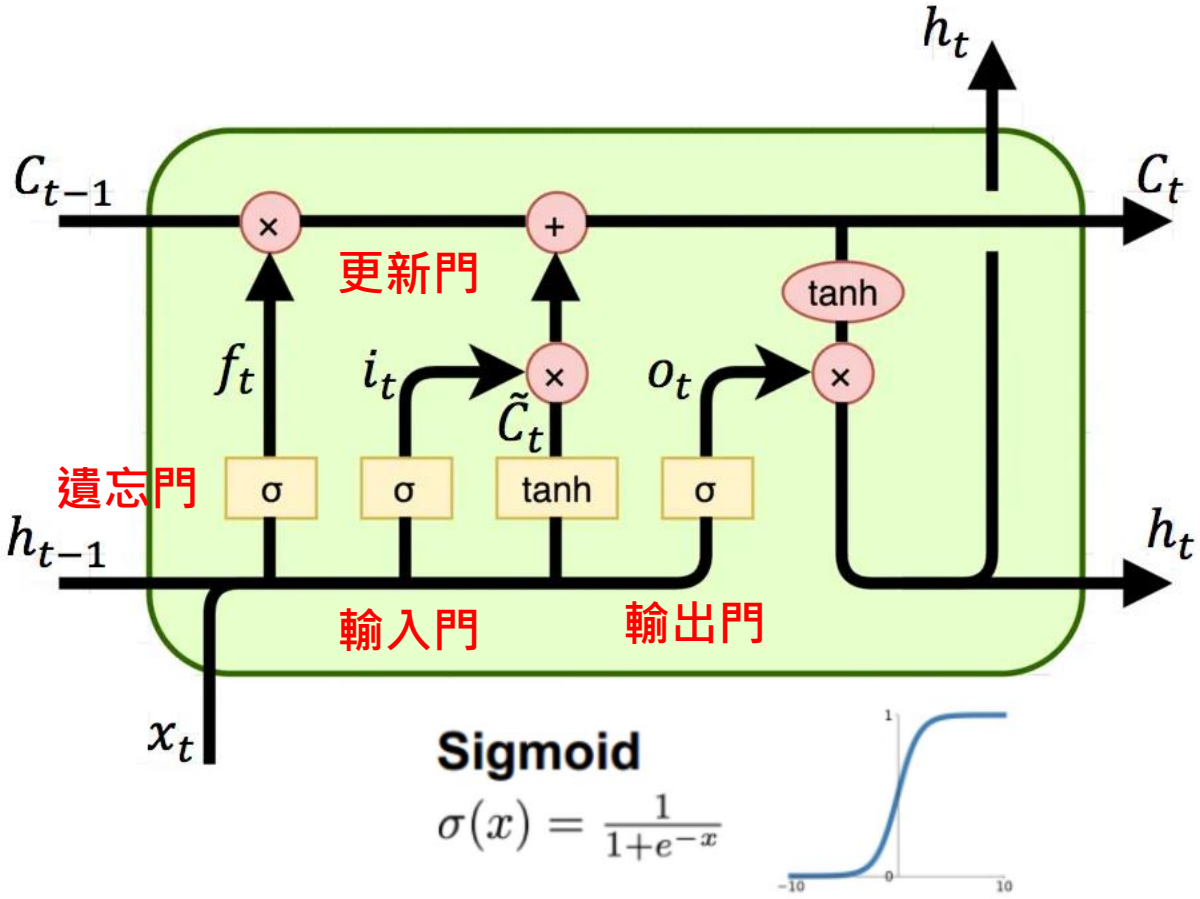
$$h_t = \sigma_h(i_t) = \sigma_h(U_h x_t + V_h h_{t-1} + b_h)$$

$$y_t = \sigma_y(a_t) = \sigma_y(W_y h_t + b_h)$$



循環神經網路 – 長短期記憶（LSTM）

Long Short-Term Memory, LSTM



遺忘門 $f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$

輸入門 $i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$

輸出門 $o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$

輸入門 $\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$

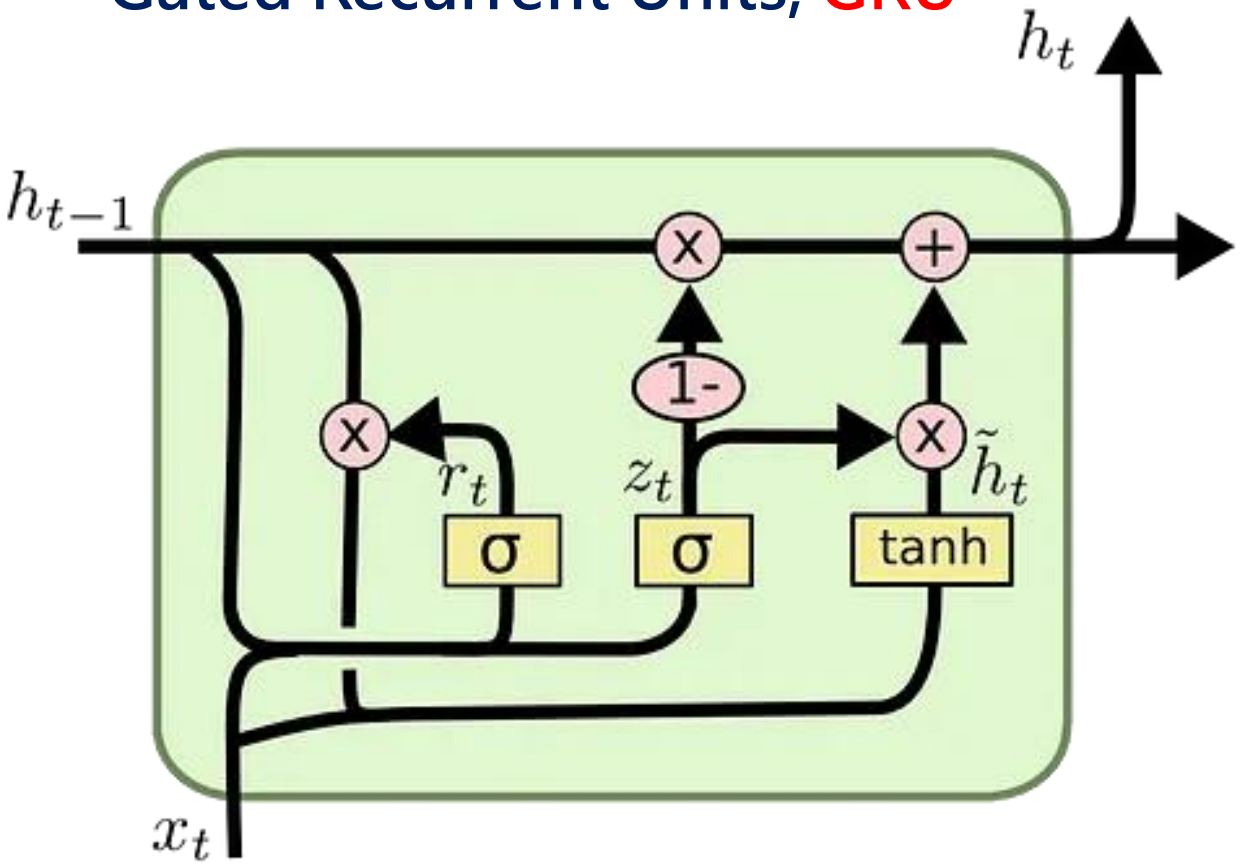
更新門 $C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{C}_t$

$h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$

資料來源：https://u9534056.medium.com/rnn-lstm-gru%E4%B9%8B%E9%96%93%E7%9A%84%E5%8E%9F%E7%90%86%E8%88%87%E5%B7%AE%E7%95%B0-23eba88afa1e

循環神經網路 — 門控循環單元（GRU）

Gated Recurrent Units, GRU



$$z_t = \sigma(W_z \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_z)$$

$$r_t = \sigma(W_r \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_r)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h \cdot [r_t \odot h_{t-1}, x_t] + b_h)$$

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t$$

資料來源：https://u9534056.medium.com/rnn-lstm-gru%E4%B9%8B%E9%96%93%E7%9A%84%E5%8E%9F%E7%90%86%E8%88%87%E5%B7%AE%E7%95%B0-23eba88afa1e

參考文獻

- 許哲豪，臺灣科技大學資訊工程系「人工智慧與邊緣運算實務」（2021~2023）

https://omnixri.blogspot.com/p/ntust-edge-ai.html

- 許哲豪，OmniXRI's Edge AI & TinyML 小學堂 Youtube 直播課程總結

https://omnixri.blogspot.com/2024/06/omnixris-edge-ai-tinyml-youtube.html

- 許哲豪，歐尼克斯實境互動工作室系列發文—TinyML(MCU AI)系列

https://hackmd.io/1PK1URhIQ7GutcWgpgsWbg#TinyMLMCU-AI%E7%B3%BB%E5%88%97

延伸閱讀

- 許哲豪，Nvidia GTC 2024 提出的 FP8/FP4 如何加速AI訓練及推論

https://omnixri.blogspot.com/2024/03/nvidia-gtc-2024-fp8fp4-ai.html

- 許哲豪，【vMaker EDGE AI專欄 #02】要玩AI前，先來認識數字系統

https://omnixri.blogspot.com/2023/02/vmaker-edge-ai-02-ai.html

- Thommas Kevin, TinyML & Edge AI

https://medium.com/@thommaskevin

歐尼克斯實境互動工作室
(OmniXRI Studio)
許哲豪 (Jack Hsu)

Facebook : Jack Omnixri
FB社團： Edge AI Taiwan邊緣智能交流區
電子信箱：omnixri@gmail.com
部落格：https://omnixri.blogspot.tw
開　源：https://github.com/OmniXRI

YOUTUBE 直播： https://www.youtube.com/@omnixri1784/streams