

兩兩握手找關係

本課講 2017 年的一篇文章。DeepMind 的 Santoro 和同事給電腦加了一個小零件。它讓電腦學會比較東西之間的關係，回答「誰離誰最遠」這類問題。

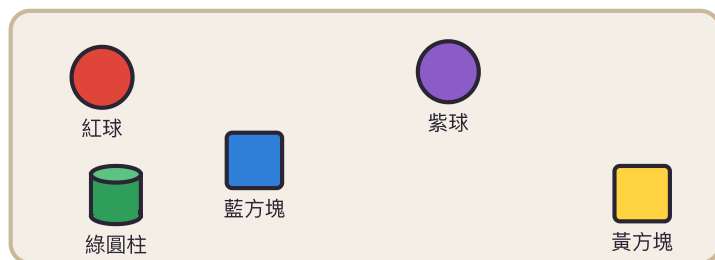
適合 10 歲左右

約 40 分鐘

需要：鉛筆、尺子、5 個小物件、一位同伴

1 熱身：兩種看圖題

看下面這張圖。圖裡有 5 個東西。請回答下面兩組題。



A 組：看一眼就行	B 組：得比一比
圖裡有綠色的東西嗎？ _____	離紅球最遠的東西是什麼顏色？ _____
紫色的東西是什麼形狀？ _____	和藍方塊形狀一樣的是什麼顏色？ _____

A 組題，盯著**一個東西**就能答。B 組題，眼睛得在好幾個東西之間**來回跑**。對電腦來說，這兩種題難度很不一樣。

2 「是什麼」和「誰和誰怎麼樣」

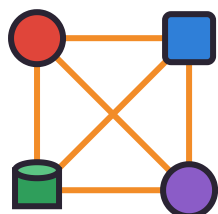
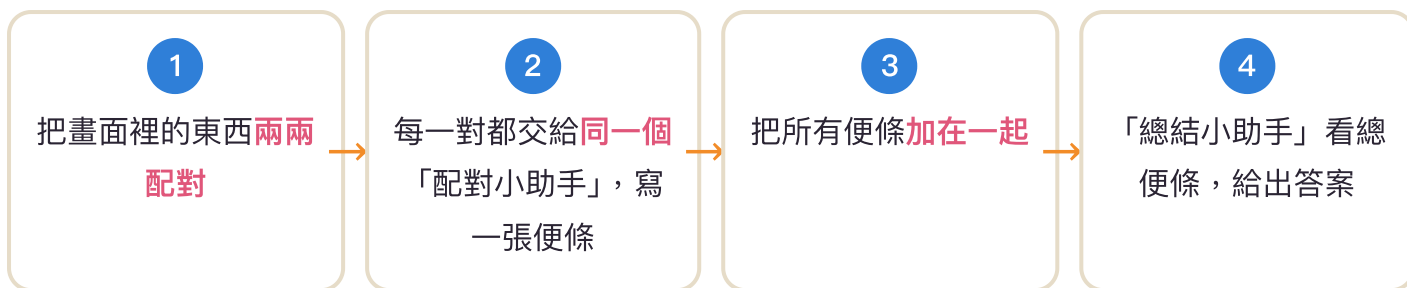
第 8 課講過，電腦用**小窗口**一格一格掃圖片，很會認出「這是一個紅球」。可是 B 組題問的不是「是什麼」，而是「**誰和誰怎麼樣**」：誰離誰遠，誰在誰左邊，誰和誰形狀一樣。

東西和東西之間的這種聯繫，叫**關係**。靠比較關係來回答問題，叫**關係推理**。

小窗口每次只看一小塊。紅球和黃方塊隔得遠，不會出現在同一個小窗口裡。普通程序也能慢慢學會比較，可是要看非常多的例題。科學家想：能不能直接告訴它「**請你一對一對地比**」？

3 辦法：全班兩兩握手

想像全班同學兩兩握手。每握一次手，這兩個人就一起說一句話：「我們倆之間是什麼關係？和老師的問題有關嗎？」說完寫在一張便條上，投進箱子。最後，老師把箱子裡的便條合在一起看，得出結論。這篇文章教電腦做的，就是這件事：



4 個東西配成 6 對，就是圖上 6 條線。每一對都用**同一個**配對小助手，它學會的本領每一對都能用。

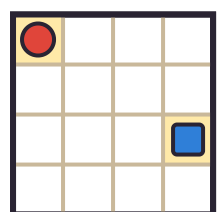
兩個小助手都是會自己學習的小神經網絡，合起來叫**關係網絡**。它像一塊積木，可以插在第 8 課的小窗口後面：小窗口認東西，關係網絡做比較。

算一算：幾個人握幾次手

新同學要和前面每個人各握一次。第 4 個人來了，再握 3 次： $3 + 3 = 6$ 。請接著填：

幾個人	2	3	4	5	6	10
握幾次手	1	3	6			

4 東西從哪來？問題怎麼聽？



沒人告訴電腦「這是一個球」。小窗口掃完後，圖變成一格一格的結果。**每一格就當作一個「東西」**。

每一格還貼上**位置標籤**，比如「第 1 行第 1 列」。沒有標籤，小助手就不知道兩個東西隔多遠。

每一對握手前都先聽題目。問遠近，小助手就留意遠近。

電腦更「死板」：A—B、B—A 各算一次，自己和自己也算。比如 64 格，就要算 4096 對。

5 為什麼先後順序不要緊

第 16 課講過：一袋水果沒有順序，叫**集合**。畫面裡的東西也是集合。關係網絡不怕順序，秘密在「**加在一起**」：每張便條是一串數字，電腦把它們對應相加，得到總便條。

加法不管先後： $3 + 5 + 2 = 10$ $2 + 3 + 5 = 10$

便條先投哪張、後投哪張，總便條都一樣，就像第 16 課的「榨果汁」。

6 考試成績：比人還準

科學家用一個專門考關係的看圖問答題庫來考它，叫 **CLEVR**。畫面裡有方塊、球和圓柱，顏色、大小不同，有的是金屬，有的是橡膠。題目像「和大金屬球顏色一樣的東西有幾個？」（示意）。電腦只能看圖片本身。



橫條是答對的比例。只加了這一個小零件，答對的比例就從論文對比的此前最好成績 68.5% 升到 95.5%，超過了人類測試者。科學家還考了另外 3 種題：

考什麼	怎麼考、考得怎樣
簡單小圖	作者自己畫的平面小圖，「認東西」和「比關係」分開考。普通程序做關係題明顯落後，加上關係網絡後兩種題都超過 90%。
短故事問答	讀幾句小故事再答題，比如「小明拿起蘋果，走到花園。蘋果在哪？」（示意）。每句話當一個「東西」。20 種題做對了 18 種。
會動的小球	有些小球之間連著彈簧。電腦只看小球怎麼動，就能猜出哪些連在一起。

7 這和今天有什麼關係

第 13 課講過 Transformer，它是今天聊天 AI 的大腦結構。在 Transformer 裡，每個字都要「抬頭看」其他所有字。換句話說，每一對字都要比一比，打個分，再按分數輕重加在一起。

這和關係網絡很像，只是 Transformer 會給重要的便條更大的分量。從這個角度看，聊天 AI 讀一段話，也在做大量的關係推理。

兩兩配對的麻煩，今天還在。想想第 3 節的握手錶：1000 個字兩兩配對，就有將近 50 萬對。所以聊天 AI 讀長文章又慢又費電，科學家還在想辦法少算一些對。也有被換掉的地方：「每一格當一個東西」太粗糙，後來的程序學會了找出完整的東西。CLEVR 這套題現在也難不倒電腦了。

8 動手：兩兩握手遊戲

玩法（2 個人，約 15 分鐘，需要尺子）

1. 桌上擺 5 個顏色、形狀不同的小物件，比如橡皮、瓶蓋、硬幣、積木、鉛筆帽，起名 A 到 E。
2. 兩人輪流當「配對小助手」：每一對量出相隔幾釐米，再寫一句關係，比如「A 比 B 大」。每對寫一張小便條，也抄進下表。

配對	隔幾釐米	寫一句關係	配對	隔幾釐米	寫一句關係
A—B			B—D		
A—C			B—E		
A—D			C—D		
A—E			C—E		
B—C			D—E		

3. 當「總結小助手」，只看表回答：離 A 最遠的是 _____；捱得最近的是 _____和 _____。
4. 把 10 張便條洗亂，按新順序讀一遍再答。答案變了嗎？ _____

你會發現：答「離 A 最遠」要看 4 對，答「哪兩個最近」要看 10 對。洗亂便條，答案不變。

9 動手：我出題你來答

玩法（2 個人，約 10 分鐘）

1. A 用 3 到 6 個小物件擺一個畫面。
2. A 出 1 道「看一眼」題和 1 道「比一比」題，像熱身那樣。
3. B 回答，說出自己比了幾對，A 記下。然後換人，擺的個數要變。

誰出題	擺了幾個	「看一眼」題比了幾對	「比一比」題比了幾對
A 出題，B 答			
B 出題，A 答			

你會發現：「看一眼」題不用比；「比一比」題，東西越多，要比的越多。

10 詞語小卡片

關係推理

比較東西之間的聯繫來答題，比如誰離誰最遠。

兩兩配對

一組東西每兩個配成一對，一對也不漏。

關係網絡

配對小助手給每對寫便條，總結小助手給答案。

加在一起

把便條相加。加法不管先後，東西怎麼排都一樣。

11 想一想

1. 如果撕掉每一格的位置標籤，電腦還能答出「離紅球最遠的是什麼」嗎？為什麼？

2. 生活裡哪些問題要用關係推理？舉 2 個例子，比如「班裡誰最高」。

3. 如果總結小助手不把便條加在一起，只看第 1 張便條，會出什麼問題？

一句話記住：認東西靠看，比關係靠兩兩配對，再加在一起。

給家長和老師：本課講的是 Adam Santoro、David Raposo、David G. T. Barrett 等人 2017 年的論文 [A simple neural network module for relational reasoning](#) (NeurIPS 2017)。論文提出關係網絡 (RN)：共享的 MLP g_θ 處理每一對物體，求和後交給 MLP f_ϕ 輸出答案，求和使結果與物體順序無關。物體取自 CNN 特徵圖的格子並拼接座標，問題的 LSTM 編碼拼進每一對。CLEVR 像素輸入上 RN 達到 95.5%，人類 92.6%，論文對比的此前最好模型 (CNN+LSTM+空間注意力) 68.5%。另有 Sort-of-CLEVR (兩類題都超過 90%)、bAbI (聯合訓練解決 20 個任務中的 18 個) 和由運動軌跡推斷彈簧連接的物理任務。

兩個「小助手」對應 g_θ 和 f_ϕ ，「便條」對應關係向量，「位置標籤」對應座標，「先聽題目」對應問題條件化。熱身圖、配對圖、CLEVR 例題、短故事、活動物件都是示意；「1000 個字約 50 萬對」是我們按兩兩配對算的。想深入可看本站的 [第 19 天中文導讀](#)，代碼見開源項目 [30u30 第 19 天目錄](#) (英文)。