



星球永續健康線上直播

量子健康科學 (4)

模擬量子運算聯邦學習擴展健康應用

2026 年 8 月 19 日

「張量網路」能夠透過壓縮與模擬複雜的量子資訊，降低高維運算所需的資源，讓古典電腦得以模擬量子系統銜接量子運算。當這項技術延伸至精準醫療，面對的挑戰不只是運算效率，更包括如何進一步擴展至跨院醫療應用。隨著醫療資料從單一醫院擴展至多家醫院，資料規模與複雜度隨之增加，資料隱私與安全也成為重要課題。因此，「聯邦學習」提供了一個重要方向，讓不同醫療機構在不直接交換原始資料的情況下，也能共同進行模型學習。本週我們將探討「張量網路結構量子模擬與精準醫療擴展」，以及「張量網路量子聯邦學習跨院醫療輔助應用」。

健康科學新知

環太平洋火山帶強震致災：「天搖地動」

2026 年中環太平洋地震帶接連發生強震，8 月 10 日上午，哥倫比亞西部發生規模 7.4 地震，卡利 (Cali)、佩雷拉 (Pereira)、馬尼薩萊斯 (Manizales) 及喬科省 (Chocó) 等地受創嚴重；數日後，印尼佛羅勒斯島 (Flores) 外海又發生規模 7.7 地震，當局一度發布海嘯警報。哥倫比亞地震震央位於西部喬科地區。美國地質調查局 (USGS) 測得規模 7.4、震源深度約 107 公里，哥倫比亞地質單位表示，這是該國 21 世紀以來紀錄到最強的地震。強烈搖晃造成大量住宅、商業建築、醫療與交通設施受損，多棟建築完全倒塌。由於救援與災情統計仍持續進行，各媒體公布的傷亡數字有所差異。美聯社報導至少 111 人死亡，地方協調機構資料則指出死亡人數已達至少 132 人，另有超過 570 人受傷。災情主要集中在卡利與佩雷拉等西部城市。卡利有多棟建築倒塌，搜救隊、消防人員及民眾連夜清除瓦礫，尋找受困者，一名六個月大的女嬰及其母親被成功從一棟倒塌建築中救出。佩雷拉亦有多處建築倒塌，部分受困者一度與救難人員保持聯繫。馬尼薩萊斯著名的新哥德式主教座堂則有塔樓倒塌。地震



也影響區域交通與公共秩序。佩雷拉、馬尼薩萊斯、基布多、亞美尼亞等多座機場暫停營運，以進行結構安全檢查。卡利、亞美尼亞及馬尼薩萊斯實施宵禁，政府並加派警力與軍方人員維持秩序。哥倫比亞總統宣布國家緊急狀態，表示首要任務是營救瓦礫下的受困者，並承諾協助失去住所的災民。哥倫比亞位於地震活動頻繁的環太平洋「火環」地帶，板塊構造複雜。當地地質部門截至地震當日晚間已記錄至少 21 次餘震，並警告後續仍可能持續發生震動。就在哥倫比亞災後搜救持續進行之際，8 月 15 日清晨，印尼東努沙登加拉省佛羅勒斯島北方外海又發生規模 7.7 地震。USGS 表示震央約位於恩德西北偏北 68 公里處，震源深度約 10 公里。由於地震發生在外海且震源較淺，印尼立即對部分沿岸地區發布海嘯警報，要求居民遠離海灘、河岸與低窪地區並前往高處避難。主震後亦接連發生多次規模 5 以上的餘震，包括規模 5.9、5.6、6.1 及 5.5 等震動。與哥倫比亞造成嚴重人員傷亡的情況相比，印尼地震初期尚未傳出死亡或重大災損，但當局仍持續評估災情與監測沿岸水位。澳洲方面則表示，這起地震未對澳洲本土、島嶼或領地構成海嘯威脅。兩起地震雖發生於不同地區，卻都位於高度活躍的環太平洋地震帶。哥倫比亞目前的重點在於搜救、醫療與災民安置；印尼則以海嘯預警、沿岸疏散與餘震監測為主。

亞洲極端氣候糧食安全挑戰：「水火交迫」

2026 年夏季，亞洲同時遭遇颱風、洪水、乾旱與森林火災，氣候風險呈現複合型衝擊。颱風「海豚」8 月 9 日登陸中國浙江，浙江、福建及上海撤離逾百萬人。上海 24 小時雨量近 313 毫米，創逾 150 年紀錄，航班與交通大受影響；殘餘水氣並使內陸面臨暴雨、山洪及土石流。其外圍環流也造成台灣停航、沖繩停電、菲律賓洪水，香港更測得 36.9°C 歷史高溫。印度阿薩姆邦季風洪災則已造成 100 人死亡，災情高峰時逾 70 萬人流離失所，村莊、農田與牲畜嚴重受創。另一方面，印尼受乾季、高溫及聖嬰影響，森林與泥炭地火災擴大，霾害風險升高。若聖嬰與印度洋偶極效應重疊，東南亞稻米產量可能減少 2% 至 8%；再加上肥料、能源、運輸及貿易限制，恐推升糧價，使依賴進口國家的低收入家庭面臨更沉重的食物負擔。本輪聖嬰可能於 2026 年底至 2027 年初達到高



峰，若再與正相位印度洋偶極等氣候條件重疊，印尼等地的乾旱、泥炭火災與霾害風險可能升高。東南亞稻米生產同時面臨高溫、缺水及種植季重疊等壓力，區域稻米產量被估計可能減少約 2%至 8%。糧食問題又與肥料、能源、運輸及國際貿易相互連動。如果農業減產同時伴隨肥料價格上升、供應鏈中斷、出口限制或囤積，食品價格可能迅速上漲。對菲律賓、印尼及馬來西亞等較依賴糧食進口的國家而言，風險不一定是完全缺乏食物，低收入家庭因價格上升而無法負擔將造成廣泛人道危機。

超強聖嬰來襲：「熱浪將至」

目前正在發展的 2026 - 27 年 El Niño（聖嬰現象）可能成為近 150 年有系統觀測以來最強的一次。多個氣候模型預測，熱帶太平洋關鍵區域的海表溫度異常高峰可能達約 $+3.6^{\circ}\text{C}$ ，明顯超過 2015 - 16 年強 El Niño 約 $+2.75^{\circ}\text{C}$ 的紀錄。NOAA 先前估計，2026 年底發展成「非常強」El Niño 的機率約為 80%，且可能持續至至少 2027 年 4 月。若預測成真，El Niño 釋放的額外海洋熱量與人為氣候變遷造成的長期暖化相互疊加，可能使 2027 年成為有觀測紀錄以來最熱的一年。Berkeley Earth 氣候科學家 Zeke Hausfather 認為，全球平均氣溫甚至可能短暫達到比工業化前高約 1.7°C ，進一步跨越《巴黎協定》關注的 1.5°C 暖化門檻。極強 El Niño 也可能提高全球多地發生熱浪、乾旱、洪水、野火、強風暴與巨浪的風險，並加劇珊瑚白化及陸地、海洋碳吸收能力下降。經濟衝擊亦可能十分龐大，有研究估計，若此次事件如模型預測般強烈，至 2032 年可能造成約 10 兆美元的全球經濟損失。這些仍屬模型預測，結果尚未確定。此外，「最強 El Niño」主要指近代觀測紀錄，古氣候資料顯示數百年前可能也曾出現極強事件，但證據不足以直接比較。目前另一個重要科學問題，是 2026 年 El Niño 距離 2023 - 24 年事件僅約兩年，是否反映人為氣候變遷正逐漸改變 ENSO 的強度或發生頻率。

極端氣候降溫新方案：「以冷制熱」

面對愈來愈頻繁且強烈的熱浪，冷氣仍是極端高溫下重要的救命工具，但並非能無限制擴張的長期解方。目前全球建築冷卻已占近 10% 的電力使用量，預估到 2050 年，



相關用電需求可能比 2024 年增加約 210%，溫室氣體排放亦可能增至約三倍。大量使用冷氣還會增加電網負荷，並將室內熱量排放到都市環境，進一步加劇戶外高溫；此外，高昂的設備與電費也可能擴大低收入族群在冷卻資源取得上的不平等。因此，研究者正積極發展幾乎不需能源的被動式冷卻技術，透過建築設計與特殊材料降低熱量進入並加速散熱。例如，自動百葉窗可依太陽位置調節日照，而「被動輻射冷卻」材料則利用 8 - 13 微米的「大氣窗」，將建築熱量以紅外線直接輻射至太空，同時反射大部分太陽能。部分新型塗層可反射約 97% 的入射太陽能，使表面溫度降低約 5.26°C。另一項發展方向是結合輻射冷卻與蒸發冷卻。研究中的水凝膠薄膜可在夜間吸收空氣水分，白天再透過蒸發帶走熱量；實驗顯示，在直接日照下可使表面降溫約 7°C。若這類材料廣泛應用於屋頂與建築外牆，可先降低建築熱負荷，減少冷氣使用與電網壓力。未來較可行的高溫調適策略，並非完全取代冷氣，而是以被動式冷卻作為第一道降溫手段，將冷氣保留在真正需要的時候使用。同時，政府也需透過建築規範、設計標準與政策誘因，推動這類技術從實驗室走向大規模應用。

AI 熱潮席捲資本市場：「資金逐浪」

人工智慧投資熱潮正從晶片產業擴散至金融市場、資料中心、能源、人形機器人與亞洲實體經濟，逐漸形成跨產業的資本循環。AI 算力需求持續增加，使企業需要投入龐大資金建設晶片工廠、資料中心與電力設施，也促使科技公司採取增資、舉債及與大型金融機構合作等方式取得資本。Intel 透過擴大股票發行募得 200 億美元，並將 2026 年資本支出預估提高至 200 億美元，以支持晶圓代工、新廠、先進封裝及 14A 製程。Nvidia 則與 Goldman Sachs、BlackRock、Blackstone、Apollo、Brookfield 及 KKR 等金融機構合作，規劃建立超過 5,000 億美元的 AI 基礎設施融資能力。這顯示 AI 競爭已不只是技術與產品競爭，也逐漸轉變為資本取得與融資能力競賽。不過，AI 投資規模快速增加也帶來金融風險。如果企業大量依靠債務投入 AI，但未來營收、獲利與現金流未能如預期成長，可能造成企業償債壓力及金融機構損失。由於資金來源橫跨銀行、私募信貸、資產管理公司與科技企業，金融體系對 AI 產業的直接與間接曝險也可能更加複雜。AI



資本支出的影響已進一步傳導至亞洲實體經濟。新加坡因半導體、電子產品與相關供應鏈需求強勁，大幅上調 2026 年經濟成長與出口預測。另一方面，人形機器人也成為新的投資焦點，中國 Unitree 的 IPO 獲得極高認購，但其估值已反映相當樂觀的商業化預期。目前許多人形機器人的收入仍主要來自研究與展示市場，因此未來能否進入大規模實際應用仍是關鍵。2026 年的 AI 熱潮因而逐漸形成「算力需求增加、基礎設施投資擴張、融資規模上升、供應鏈受惠、資金流向新 AI 應用循環。下一階段最重要的觀察指標，是 AI 所帶來的實際營收、生產力提升與現金流能否追上資本支出及估值成長；若商業化進度落後，高槓桿、產能過剩及估值過高可能成為主要風險。

AI 新創研究發表智財保護兩難：「盛名之下」

大型 AI 新創常宣稱能推動軟體、藥物與科學研究，2026 年 7 月發布於 bioRxiv 的預印本指出，許多估值超過 10 億美元的 AI 獨角獸公司，雖然經常宣稱正在推動軟體開發、藥物發現與科學研究，但實際透過學術文獻公開的研究成果相當有限。研究統計 1998 至 2025 年間 317 家 AI 獨角獸後發現，超過一半的公司從未以主要研究者身分發表論文或預印本，所有公司合計僅占 2025 年 AI 論文總量約千分之一。研究團隊共整理出 2077 篇相關出版品，其中包括 1389 篇同儕審查論文與 688 篇預印本，而且研究影響力高度集中：排名前 5% 的企業取得超過 90% 的引用，OpenAI 單獨就占近 40%，其次為 Megvii 與 Hugging Face。即使部分公司研究產出較多，發表活動也常集中於少數研究人員。研究者認為，這種現象部分源於 AI 產業的商業誘因。與可透過專利保護研究成果的製藥產業不同，AI 公司若公開關鍵技術細節，可能直接讓競爭者受益，因此企業往往傾向保留最具商業價值的技術。2017 年 Google 公開 Transformer 架構後，該技術成為大型語言模型的重要基礎，也常被用來說明企業公開研究與商業利益之間的張力。另一方面，AI 公司的研究傳播方式本身也正在改變。由於傳統同儕審查速度較慢，許多企業改以部落格、技術報告、程式碼、資料集或模型權重公布成果，因此單純以論文數量衡量研究開放程度可能有所偏差。真正重要的問題，是企業是否提供足夠資訊，讓外部研究者能獨立驗證、重現並延伸其研究成果。研究亦



指出，中國 AI 公司近年持續比美國企業發表更多學術論文，部分中國企業也較積極採取開源策略；相較之下，美國主要前沿 AI 實驗室對最強模型的技術細節愈來愈保密。這反映中美 AI 產業在研究公開、開源策略與商業競爭模式上的差異，也使「科學透明度」逐漸成為評估 AI 公司可信度與研究價值的重要議題。

動態量子位元挑戰大型運算：「進退兩難」

Nature 評論介紹 Quantinuum 與 Sandia National Laboratories 合作開發的 98 量子位元量子電腦 Helios。文章強調，量子電腦的能力不能只看量子位元數量；如果量子位元錯誤率高，即使數量很多也未必有實際價值。Helios 的重要性在擴大量子位元規模的同時，仍能維持很高的運算準確度。Helios 採用囚禁離子架構，將離子懸浮在晶片上方，利用電磁場控制與移動。與超導量子位元固定在晶片上的方式不同，囚禁離子可以在處理器不同區域之間搬運，因此任意兩個量子位元都能被送到適合的位置進行交互作用，形成所謂的全連接能力。系統中的量子位元平時儲存在環狀區域，經由十字型交叉點被分流到快取區，再送往八個運算區執行量子閘操作，完成後再回到儲存區。量子位元沿著環狀儲存區移動，再經由交叉節點進入上下兩條處理路徑，先進入快取區，之後送至量子邏輯與八個操作區，完成量子閘後則暫存在另一個區域。這種可重組的傳輸方式，使系統不必為每一對量子位元預先建立固定連線，而是藉由實際搬運離子來決定哪些量子位元互相作用。Helios 的另一項優勢是囚禁離子的量子資訊可以維持相當長的時間。文章指出，某些囚禁離子的實驗中，量子資訊可保存超過一小時，因此離子有足夠時間在處理器內移動，而不會因搬運本身迅速失去量子狀態。研究也發現，單一量子閘的表現可以很好地預測整個 Helios 系統的效能，顯示這種架構在規模擴大時仍具有維持穩定表現的潛力。Helios 同時是第一台以鉕離子為基礎的可程式化量子電腦，並具有能夠即時決定量子位元傳輸路徑的控制系統。雖然 98 個量子位元在數量上少於部分超導或中性原子量子電腦，但其量子閘保真度超過 99.9%，屬於非常高的水準。這也反映量子電腦競爭的重點並不只是增加量子位元數量，而是能否同時控制錯誤率、連接能力與系統可擴展性。在實際運算能力方面，Helios 已完成一些傳統電



腦實際上難以處理的計算，包括模擬超導材料中的電子行為。研究團隊還利用隨機電路基準測試評估其效能，結果顯示 Helios 在特定測試中，同時在計算速度及能源效率上超越已知的傳統計算方法。

張量網絡結構量子模擬與精準醫療擴展

《邊緣危機》(Fringe)《未行之路》講述主角奧莉維亞經歷平行世界找尋破案線索。劇情以一連串離奇的人體自燃事件為主軸。年輕女子蘇珊在紐約街頭突然從體內釋放巨大能量並燃燒爆炸，現場卻找不到助燃劑或縱火裝置。華特因此推測，人體中的能量可能受到某種特殊「觸發器」影響，而案件也逐漸與他和貝爾年輕時進行的邊緣科學實驗，以及貝爾後來創立的 Massive Dynamic 產生關聯。調查過程中，奧莉薇亞突然看見同一街區在另一種現實中遭到嚴重破壞，但景象很快又恢復正常。華特以《The Road Not Taken》的概念解釋，每一次不同選擇都可能使現實像樹枝般分岔，形成彼此獨立的平行世界。由於奧莉薇亞小時候曾接受華特的實驗，她可能因此具有短暫感知其他平行世界的特殊能力，甚至能從另一個世界取得調查線索。奧莉薇亞進一步發現，另一個世界也發生過類似的自燃事件，並藉此查出蘇珊有一名雙胞胎姊妹南西。兩姊妹幼年時都曾是實驗對象，因此南西也可能具有相同的異常能力。當南西因恐懼與情緒激動而接近自燃狀態時，奧莉薇亞設法讓她轉移注意力與體內能量，成功避免爆炸。這段劇情除了延續華特過去實驗所留下的後果，也強化《Fringe》劇情連結，不同選擇可能形成不同時間線與平行世界，而某些特殊人物能夠跨越或感知兩個世界之間的連結。

在量子的世界裡面，可以呈現多態共存的情況，而不是像過去古典電腦的 0 跟 1，在同一個時間只能選擇其中一個狀態。量子具有三個非常重要的本質特徵，包括疊加，也就是多態共存；糾纏，也就是狀態之間的聯動；以及干涉，也就是相長或相消。當要完整描述這樣的量子狀態時，所需要的是 2^N 個振幅。隨著量子位元增加，所需要的運算算力、記憶體以及後面帶來的成本，都會呈現非常快速的成長，幾乎是難以想像的。所以希望能夠利用張量網路 (Tensor Network, TN)，把 2^N 的成本壓縮到可行範圍，也讓量子運算跟古典電腦的運算之間建立一個重要的連結。所以張量網路在量子特徵模



擬裡面，可以看到兩條互補的驗證路線。第一條，目前很有名的 127-qubit IBM Eagle，如果要利用傳統古典電腦完整模擬，需要非常龐大的記憶體與運算資源；但是透過 BP-TN，也就是結合信念傳播的張量網路，可以重現古典基準，甚至可以在手機上執行，壓縮程度大約可以達到 10^{29} 。另外一條路線，就是從 MPS，也就是矩陣乘積態 (Matrix Product State)，進一步連接到 PQC，也就是參數化量子電路 (Parameterized Quantum Circuit)。可以先利用比較簡單的 MPS 結構求解，再把結果映射成 PQC 的初始參數，作為後續量子電路運算的起點。

《Fringe》劇中華特在跟奧莉薇亞解釋時，畫出一棵不斷分岔的樹，每一個岔路就代表另外一條可能的現實。其實用這樣的概念來理解量子力學也非常有意思：量子的「疊加」代表多種狀態可以共存，而不同量子狀態之間又可以產生「糾纏」，形成彼此之間非常複雜的關聯。張量網路要提高效率，有三件事情非常重要。第一是網路結構的匹配度，結構越匹配，運算成本就越低，因為我們可以把不必要的資訊壓縮掉，保留最重要的關聯；第二是收縮順序的最佳化，A、B、C、D 到底哪一個先算、哪一個後算，順序不同，產生的中間張量大小就可能差非常多；第三就是近似收縮的利用，特別是在具有環路的複雜網路裡面，可以利用近似的方法，把非常複雜的關係簡化到可以運算的程度。所以張量網路一方面可以作為判斷「量子優勢」的古典基準線，另一方面也可以成為量子電路預訓練與初始化的起點。這個概念其實跟現在人工智慧的大型模型也有一點異曲同工之妙，也就是先透過預訓練建立好的起點，再進一步進行 fine-tuning，讓後續的運算可以更有效率。

量子運算如果沒有經過這樣的簡化與壓縮，需要投入運算資源尋找起始點。張量網路模擬可建立一維鏈式結構，也就是矩陣乘積態 MPS，或者採用比較複雜的二維相關網路關聯。利用做信念傳播 (Belief Propagation, BP) 網路可透過節點之間不斷訊息相關性判斷哪些傳播路徑比較重要、具主要關連性需要被保留下來，使從複雜量子糾纏關係中，找出重要的關聯結構，再利用近似收縮的方法，把原本複雜的問題簡化。當不同的路徑不斷分岔之後，就會形成非常複雜的網路。量子系統裡面，當不同節點彼此產生



關聯，或形成環路(loop network)可藉由信念傳播輔助建立主要關聯結構近似收縮提高運算效能，處理複雜量子糾纏關係。解決複雜的量子運算問題，並不是電腦越大、算力越強就一定越好。更大的超級電腦並不是唯一的答案，真正重要的是有沒有選對網路的幾何結構、收縮順序以及近似的方法。

矩陣乘積態(MPS)是一維鏈式結構，形式非常簡潔，因此可以作為參數化量子電路(PQC)很好的初始化來源。不過，MPS 雖然結構簡單，還是有限制。因為具一維拓撲偏置，當面對二維相關資料的時候，就很容易產生 bias mismatch。也就是原本一維的結構沒有辦法完整對應二維資料之間比較複雜的關聯，因此在後續的參數化量子電路裡面，就必須先修正這樣的偏置，否則可能會遇到鞍點。所以這時候就需要利用比較複雜的網路結構來進行修正，而這裡面就要靠信念傳播。當網路裡面出現環路，也就是 loopy network 的時候，BP 可以利用這些關聯結構進行近似收縮，進一步處理比較複雜的量子糾纏關聯。所以最後有三個非常重要的判斷：第一，幾何結構是否匹配；第二，收縮順序是否夠好；第三，BP 的誤差是否可以接受。這三個條件，是決定張量網路能不能有效進行量子模擬非常重要的關鍵。

原始的量子關聯結構可能非常複雜，其中有一些是比較重要、需要保留的關聯，也有一些是相對次要、可以考慮捨棄的關聯。張量網路所做的就是透過壓縮與截斷，把不重要的資訊去掉，把真正重要的量子糾纏關係保留下來。透過奇異值分解(SVD)可以把比較重要的連結保留下來，把影響比較小的部分捨棄，在可以接受的誤差範圍之內，進一步簡化整個波函數。量子系統在疊加之後會形成非常複雜的量子糾纏，而張量網路就是利用這樣的壓縮與近似，把複雜的糾纏結構簡化。從信念傳播開始，只保留部分重要的資訊，再進一步選擇性地捨棄一些比較不重要的環路關聯。透過這樣的方式，就不需要完整保留所有的量子糾纏資訊，而是在可以接受的誤差範圍之內，保留對問題最重要的關聯，降低量子模擬所需要的運算成本，讓原本非常複雜的張量網路運算變得可行。

張量網路可以提高量子模擬的效率。從量子的三個重要特徵，也就是疊加、糾纏與干涉在張量網路中的表示方式、成本來源，以及可以使用的壓縮方法都不太一樣。對於



疊加為例，完整量子態需要儲存 2^N 個振幅，隨著量子位元增加，所需要的儲存空間會快速成長。所以張量網路可以透過因式分解，把原本高階的係數張量分解成低階的張量網路，降低所需要的儲存與運算成本。第二個是糾纏。量子位元之間的糾纏愈複雜，所需要的鍵維度 χ 就會愈大，運算成本也會跟著增加。因此，關鍵就在於把重要的糾纏關係保留下來，把比較不重要的部分捨棄。這時候可以利用截斷 SVD，也就是奇異值分解，以及選擇性捨棄部分環路關聯，在可以接受的誤差範圍之內降低複雜度。第三個是干涉。干涉本身不一定需要額外的儲存成本，而是在張量收縮的過程中，讓不同的複數振幅產生相加或相消。但是這些振幅不能任意捨棄，否則可能改變原本的干涉結果，最後產生物理上的錯誤。所以張量網路的壓縮，並不是單純把資料愈壓愈小，而是針對不同的量子特徵採取不同的方法：疊加可以透過因式分解降低儲存成本；糾纏可以利用 SVD 截斷與選擇性捨棄降低複雜度；干涉則必須保留重要的振幅關係，確保最後相長與相消的結果仍然正確。

除了量子晶片持續增加量子位元數，以及利用張量網路提高模擬的保真度之外，中間還需要一個重要的橋接層，讓整個工作流程能夠順利進行。也就是把資料流、量子處理器與古典電腦整合起來，形成一個混合式量子—古典工作流程，讓資料從輸入、建立量子模型，一直到最後的預測，都能夠有效地串聯起來。這樣的架構就可以進一步應用到精準醫療，包括基因體分析、疾病診斷、藥物探索以及個人化治療。因為精準醫療所面對的資料非常龐大，從基因、醫學影像、臨床特徵，到不同疾病階段以及藥物使用等多模態資料，都需要進行整合與分析。因此，如果能夠善用量子—古典橋接以及張量網路，就可以進一步提升複雜醫療資料的分析能力。

醫療資料往往分散在不同醫院，不同醫院所擁有的資料特性、樣本數以及得到的模型參數也都不一樣。如何在不讓原始資料離開醫院的情況下，還能讓不同醫院共同進行模型學習，就需要進一步導入聯邦學習 (Federated Learning)。聯邦學習可以讓每一家醫院利用自己的本地資料訓練模型，再把模型的參數或權重傳送到全域伺服器進行安全聚合，之後再把更新後的全域模型傳回各家醫院。這樣一來，原始的病人資料不需要



在不同醫院之間直接交換，卻可以結合多家醫院的資訊進行協同學習。不過，即使採用聯邦學習，模型參數在傳遞的過程中仍然可能被回推出部分原始資訊，因此還需要進一步結合差分隱私 (Differential Privacy) 等方法，降低從模型參數反推出個人資料的可能性。這樣不只是讓資料不離開醫院，也進一步提升整個跨院學習過程中的隱私保護。所以當不同醫院的資料特性、樣本數以及多模態資料都不一樣的時候，就可以進一步結合張量網路、聯邦學習與量子最佳化，在保護隱私的情況下進行跨院協同學習。透過這樣的架構，一方面可以保護病人的醫療資料，一方面可以整合不同醫院的資訊，再利用量子技術提升模型效能，進一步支援更多的精準醫療應用，擴大智慧醫療的效益與影響。

張量網路量子聯邦學習跨院醫療輔助應用

我們以例子說明模擬量子聯邦學習醫療資料應用：56 歲女性接受低劑量電腦斷層 (LDCT) 肺癌篩檢，左上葉發現 7 mm 部分實性結節，先前評為 Lung-RADS 3，前兩次追蹤大小無明顯變化。本次 AI 分析顯示惡性風險由 0.43 上升至 0.71，實性成分比例亦由 18% 增至 34%，熱圖主要聚焦於實性成分及周圍毛玻璃邊界。不同層級醫療院所累積的 LDCT 檢查量與病理確診結節數存在明顯差異，醫學中心每年約有 6,800 例檢查及 420 顆確診結節，地區醫院則約 900 例及 25 顆。小型院所標籤結節數較少，難以單獨訓練深度模型，加上跨院影像集中受到個資與 IRB 實務限制，使資料較少的院所同時面臨經驗與頻寬不足的問題。醫療 AI 跨院應用面臨資料敏感、資料分散及數據差異大的挑戰，各院在樣本數、族群、疾病表現與設備協定上皆可能不同。FedQTN 採取「資料不出院、模型一起學習」方式，各院以院內資料進行本地訓練，僅上傳模型更新至安全中央模型伺服器，再下載更新後的全域模型參數，在資料留院的情況下進行跨院協作。

該研究團隊建立古典影像處理結合量子模擬的混合架構，先從 CT 影像擷取 32x32 感興趣區域並進行區塊化，再以 4 個量子位元的張量網路模擬量子電路，將畫素轉換為量子特徵並重建影像資訊，最後透過全域平均池化輸出惡性風險分數。整體模型僅約 3,072 個參數，可有效降低硬體與運算需求，具備在醫院端進行在地部署與即時輔助判



讀的潛力。研究團隊進一步在聯邦學習中導入「差分隱私」機制。雖然醫院上傳的是模型權重而非病患原始資料，但在小型醫院樣本較少時，權重仍可能間接暴露個人資訊。為降低風險，系統先進行梯度裁切，再加入高斯雜訊，使單一個案對模型更新的影響被淡化。研究並測試不同量子網路架構，結果顯示樹狀網路可在維持辨識效能的同時，加強隱私保護，提升跨院聯邦訓練的安全性。研究顯示，張量網路量子聯邦學習可讓醫學中心、區域醫院甚至基層院所共同參與模型訓練，並提升在地端的影像判讀能力。聯邦學習後，乙院與丙院模型準確度皆提升至 94.5%，不同院所可透過彼此資料特性互補，強化跨院穩定性。對病患而言，也能減少不必要的轉診，僅在需要進一步侵入性治療時轉往大型醫院，追蹤時間可由 6 個月縮短至 2 個月，同時兼顧醫療可近性與隱私保護。

以上內容將在 2026 年 8 月 19 日(三) 10:00 am 以線上直播方式與媒體朋友、全球民眾及專業人士共享。歡迎各位舊雨新知透過[星球永續健康網站專頁](#)觀賞直播！

- 星球永續健康網站網頁連結：
<https://www.realscience.top/7>
- Youtube 影片連結：<https://reurl.cc/o7br93>
- 漢聲廣播電台連結：<https://reurl.cc/nojdev>
- 不只是科技：<https://reurl.cc/A6EXxZ>



講者：

陳秀熙教授/英國劍橋大學博士、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑀博士

聯絡人：

林庭瑀博士 電話：(02)33668033 E-mail：happy82526@gmail.com

劉秋燕 電話：(02)33668033 E-mail：rl1847030@ntu.edu.tw