



後摩爾定律時代的新興量子計算技術

退火計算

作者：于濂波、陳志宇、張慶瑞

作者簡介

于濂波是臺灣大學電機博士，目前任職於資策會智慧系統研究所。

陳志宇是臺灣大學物理博士，目前是中原大學電機資訊學院人工智慧應用學程助理教授。

張慶瑞是臺灣大學物理學系特聘教授。

退火計算 (annealing) 是一項專以解決大型、複雜、難解組合優化問題的新型態計算技術，主要包括量子退火和數位退火兩類技術，其中數位退火具有新計算模式、領域特化架構及橋接量子計算等特性，不僅是企業跨越數位與量子計算鴻溝的一項重要變革戰略，也是後摩爾定律時代一項極具商業價值的新型態高效計算 (HPC) 技術，有機會為臺灣資訊和半導體產業帶來新契機。本文將介紹退火計算關鍵軟、硬體技術發展現況。

一、概述

在後摩爾定律時代 (post-Moore's law era) 過去依賴計算堆棧「底部」半導體微縮、封裝、材料等技術來提升計算性能的方式可能將難以再有大幅成長和收益，並將逐漸轉移至「頂部」軟體、演算法、新計算模型 (例如量子計算) 和領域特化架構 (domain-specific architecture) 等創新，從而改變歷史發展趨勢 (圖 1)。

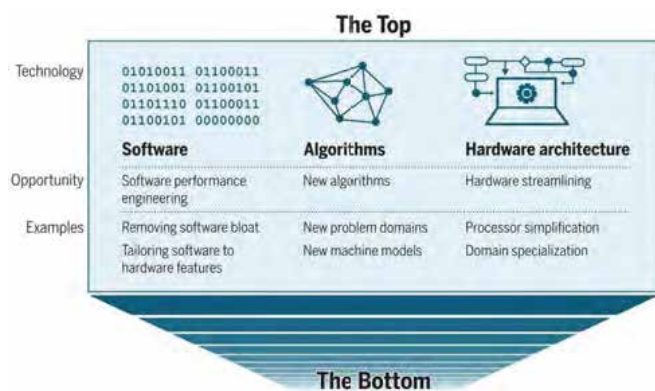


圖 1：後摩爾定律時代的計算性能提升趨勢。(C. Leiserson et al., Science 368, 2020)

另一方面，在量子計算實用化之前，基於「量子電腦特殊用途」——解決大型、複雜組合優化問題 (combinatorial optimization problem) 及「特殊用途量子電腦」——量子退火電腦 (quantum annealer) 或數位退火電腦 (digital annealer)，尤其是後者，兩項策略所形成的「量子啟發數位退火計算」已成為企業跨越數位與量子計算鴻溝的一項重要變革戰略 (圖 2)。此外，因其具有以下特性，故也成為後摩爾定律時代一項極具商業價值的新型態高效計算技術。

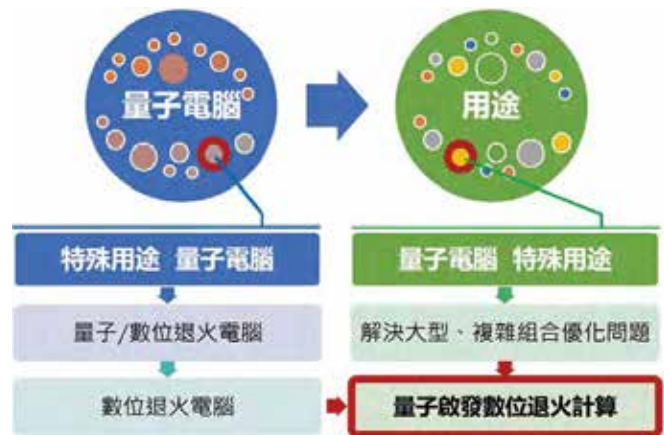


圖 2：銜接現在數位計算與未來量子計算鴻溝的策略。

新計算模式：運用量子力學原理的新數位計算模式。

領域特化架構：針對優化問題易辛模型 (Ising model) 特化的非傳統馮諾曼 (non-von Neumann architecture)。

架構橋接量子計算：採用量子啟發演算法，橋接 (bridging) 數位與量子計算。

臺灣資訊和半導體產業正可借力使力，布局數