

智能製造單元 ⑦

智能製造與 虛實整合系統之闡述

The Smart Manufacturing and Cyber -- Physical Systems

楊錦洲 Yang, Ching-Chow / 作者為本學會理事長、亞太質量功能展開協會副會長、亞洲品質網路組織 (ANQ) 理事

美國與德國幾乎同時的發展「再工業化」之先進製造與工業 4.0，其重心在於推動智能製造。智能製造是建基於 ICT 系統上的智慧控制製造系統，其所依賴的是訊息 -- 物理系統之建立與運作。本文是根據多篇的論文研究，來對訊息 -- 物理系統做進一步的解說，並建立其運作架構，提供給企業界，甚至學者專家做參考。

訊息 -- 物理系統就是虛實整合系統，它不是工業 4.0 之後才出現的，而是美國國家基金會於 2006 年所創造的。此虛實整合系統包含了三大部分，即實體世界、通訊網絡、網路空間。藉助通訊網絡將實體世界的運作狀態，以數據 (data) 方式傳輸至網路空間。在網路空間中會利用多種科技工具與系統，將傳送到網路空間的大量數據進行整理、分析，產生有價值、有用的資訊及知識，然後

對實體世界的機器設備與環境控制做出調整、修正及操作上之決策，再把這些行動決策傳送回相關的生產機台與設施。接收到決策訊息的機台與設施會依行動指示，自行做調整。為了達到訊息 -- 物理系統的功能，三大層面都需要結合及運用多項的科技工具與系統。

虛實整合系統是智能製造的關鍵

美國早在 2010 年，歐巴馬就簽署了「美國製造業促進法案」，並提出了「再工業化」(即製造業回歸) 戰略 (Obama, 2010)。主要是運用快速發展的人工智能、機器人和數位製造為美國重新構築製造業的競爭優勢。當年，美國成立了智能製造領導聯盟 (Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC)，致力於發展新的製造典範，

稱之為 smart manufacturing(智能製造)。接著德國提出了工業 4.0 之構想，並隨之進行規劃及付之行動 (Vogel-Heuser & Hess 2016)。工業 4.0 可說是德國政府提出的一個高科技計劃，它是一個長期的智能發展計劃。德國積極的發展工業 4.0，造成了全球的盛行，並進而促使“第四次工業革命”(Kagermann et al. 2013)。

工業 4.0 的推動團隊特別指出工業 4.0 的新世代工業型態就是智慧工廠，呼應了美國 SMLC 所推動的智能製造。不論是德國的智慧工廠或美國的智能製造，在此我們通稱為智能製造。智能製造遠超過目前的自動化生產型態，是建基於 ICT (Information and Communications Technology) 系統上的智慧控制製造系統，整合了訊息 - 物理系統 (Cyber--Physical Systems, CPS)、連結物聯網 (Internet of Things, IoT) 與服務聯網 (Internet of Services, IoS)、人工智慧 (Artificial Intelligence, AI)、大數據 (big data) 與雲端運算 (cloud computing) 等等，形成智慧化、全自動化、自主化、自治化的生產系統 (Zhong et al. 2017, Yao et al. 2019)。

智能製造系統有極高度的自治性及自主性 (autonomy)，做到完全的無人化。所有的原材料、零組件、加工件及成品都會在生產線上依設定的路徑來移動。製程上的機台會依照 M2M (machine to machine or material to machine) 的訊息傳遞，以事先設定好的生產參數、生產條件來生產加工件，且能良好的自我控制。

在生產過程中，製程之關鍵因素的參數值及各製程之產出品質均會自動量測或感測，所有這些 data 會傳輸到雲端運算與邊緣運算，再利用計算以了解製程狀態。當品質量測產生變異時，會透過大數據分析，立即找出生產參數或條件有所變動的關鍵影響因素，且機台會自動加以調整，以確保生產

之物品確實是良品。

要達到上面所提到的智能製造之理想狀況，除了善用 M2M 的許多工具，如條碼與掃描、影像感測器 (CMOS image sensor, CIS)、電子標籤 (electronic product code, EPC) 與無線射頻識別 (radio frequency identification, RFID) 等之外，最關鍵的就是要建立及運作訊息-物理系統，將生產系統的實體物品移動、加工狀態、機台與設備之操作與控制狀態、生產參數與品質量測、各項感測數據等 data 藉由網路傳送到虛擬世界或網路空間 (cyber space)，並利用先進的計算及分析工具，如雲端運算、大數據分析、AI 系統等將 data 整合、分析，而產生有價值的 information 或 knowledge，如品質是否變異、品質變異時的影響因素、影響因素之機台參數如何調整、生產料號改變時參數如何轉變，等等。這些調整決策、作業指示等會再傳回到實體世界 (physical world)，以指揮物體之移動、機台修正參數、改變操作方式等等 (Yang et al. 2019)。

訊息-物理系統可說是智能製造的關鍵，更是智能製造的運作核心 (Yang et al. 2019, Yao et al. 2019)，我們可以說沒有建立及運作訊息-物理系統，將難以做到智能製造。既然訊息-物理系統是如此的重要，我們需要對它多了解。所以，下一節我們會針對訊息-物理系統做較詳細的說明。

訊息--物理系統之解說

很多人會認為訊息--物理系統跟智能製造、物聯網等，均是工業 4.0 推動之後才逐漸發展出來的，事實上不然。美國的智能製造領導聯盟大約在 2010 年，就致力於發展智能製造 (SMLC 2011)。而物聯網更是麻省理工學院 (MIT) 早在 1999 年就提出來了 (Atzori et al. 2010)。訊息--物理系統 (Cyber--Physical Systems) 是美國國家基金

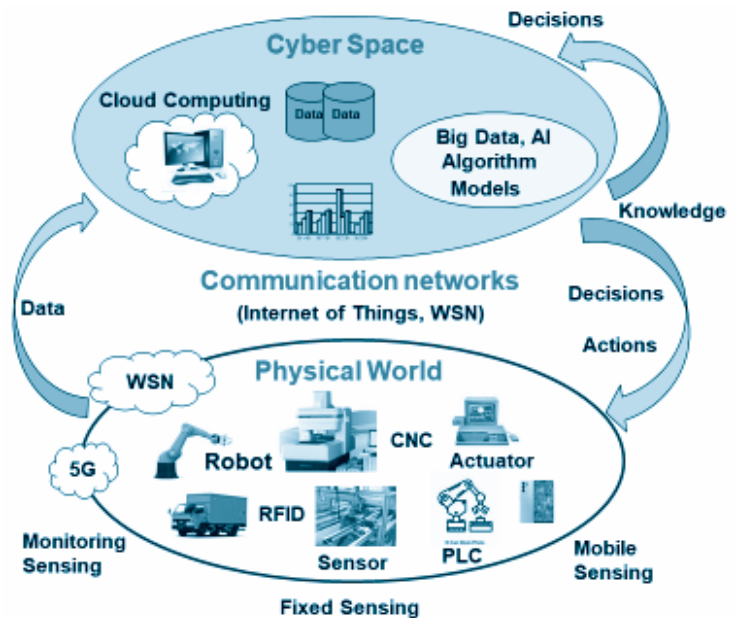
會(National Science Foundation)於2006年所創造的(Yao et al. 2019)。「Cyber--Physical Systems」有幾個不同的中文名稱，在此所使用的「訊息--物理系統」是大陸較常使用，也是我習慣使用的。把「Physical」翻譯成「物理」，不是很理想，但只要能理解其意思，也就可以了。也有人翻譯成「網宇--實體系統」，或「網路--實體系統」，甚至是「虛實整合系統」，後者是以其運作功能來翻譯的。

我們在前一節就已簡述了訊息--物理系統，在此，我們會再進一步的對訊息--物理系統加以定義及說明。美國國家基金會定義訊息--物理系統是“實體 - 感知工程系統”(physically-aware engineered system)，此系統緊密結合運用網路組件，針對實體世界進行計算、通訊及控制(compute, communicate, and control)，並可在網路上提供廣泛的服務(Yao et al. 2019)。CPS的結構含蓋了三個層面，即實體世界(physical world)、通訊網絡(communication networks)、網路空間(cyber space)。實體世界指的是需要受到監測及控制的實體物品、生產製程、機器設備、廠區環境等。網路空間涉及到下一世代的通信基礎設施(如5G)，數據儲存與處理(如雲端運算)，計算、分析與決策系統(如大數據分析、AI)等。通訊網絡是關連到媒介工具之應用，擔負起實體世界與網路空間之橋梁(Yao et al. 2019)。這些媒介工具需要將物體移動、生產流程、機器操作、廠房環境條件等實體世界的動態轉換成數據(data)，再透過通訊設施、無線網路將數據傳輸到網路空間。虛實整合系統之架構如圖一所示。

虛實整合系統之運作最關鍵的就是要將實體世界的相關動態，如原物料、在製品、半成品、成品之移動，機器設備

之操作，生產參數之控制，廠房環境之監控，各製程產出之品質，等等，都要能以「數據(data)」來呈現。所以，需要有CNC生產設備、智慧機器人(smart robot)、感測器(sensors)之安裝、自動量測、RFID之使用等等。這些數據可利用固定感測(fixed sensing)、移動感測(mobile sensing)、監控感測(monitored sensing)，以及藉助通訊網絡的一些工具，如無線傳感器網絡(wireless sensor networks, WSN)、物聯網(IoT)、服務聯網、互聯網等來傳送至網路空間，如雲端系統，見圖一。

傳送到網路空間的數據必定是大量的，正所謂大數據。這些大數據不只是儲放而已，更需要整理、歸類、分析，以挖掘有用的資訊及知識。因此，網路空間除了有雲端運算，用以儲存及計算分析大數據之外，還要整合及運用多項科技工具與系統，如處理龐大數據的「大數據(big data)」，善用分析的算則(algorithm)、模式化(modeling)、模擬(simulation)，以產生類似人類智慧的「人工智慧(AI)」等等(Yang et al. 2019)，見圖一。透過數



圖一：虛實整合系統之架構圖

據驅動(data driven)之資訊處理、模式分析及模擬，會產生極為有用的資訊與知識，例如可及時分析製程參數、廠區生產條件、各製程及生產線上的品質衡量值，當變異出現時，能分析及挖掘造成變異的關鍵影響因素，並產生關鍵影響因素之修正指示，以及機台操作的作業標準。也可分析生產機台及設備之使用狀態，妥善率，以及分析機台設備之關鍵零組件之耗損程度，做出預防保養之指示。

網路空間所分析出之有用的資訊及知識，會回傳到實體世界的機器與設備之控制中心，以及管理部門之資訊系統。生產機台、設備及機器人均能接到相關的行動決策，如參數修正指示、作業標準調整等，而且會自行依行動決策來執行，以維持製程參數、廠區生產條件均能做到最佳控制，確保各製程及生產線上的產出品質百分百合格。設備部門或設備供應商也會接收到機台及設備之妥善率，以及預防保養及維修之指示。甚至生管部門可以由資訊系統上了解到各料號的生產狀況與進度，掌控對客戶的準時交期。材料供應商也可掌握材料或零組件之使用狀況，可進行適時的補料。

結論

虛實整合系統(Cyber-Physical Systems)可說是實現智能製造的關鍵科技，但要能有效的運作，且欲產生強大的功能，必須要跟多項先進科技相結合與運用，諸如雲端運算、物聯網、互聯網、大數據分析、人工智慧、5G等等。虛實整合系統不只運用在製造業的智能製造，還能運用在許多的產業上，如航太、自動化、化學製程、土木營建、能源、交通等各行各業。因而，任何產業要應用虛實整合系統時，一定要充分的理解，且要建置合適的運作系統，及結合所需之科技工具。

製造業要發展智能製造，各行各業要朝向智能化，都是必然的趨勢。而智能製造及智能化之實

現最關鍵的就是虛實整合系統。因而，企業界都需要建置及運作虛實整合系統。虛實整合系統之運作最關鍵的就是如何將實體世界的動態轉化為數據(data)，再將所蒐集的數據傳送到網路空間(cyber space)，如雲端系統。所以，以製造業來說，生產現場、各式機台設備，除了安裝及使用先進科技工具之外，公司更要進行兩大工程，就是全面性的進行“數位化”及佈建“5G”的基礎設施，而且越快建置越好。

虛實整合系統的建置及運作也是一件艱鉅的工程，公司一定要事先進行周詳的規劃，編列必要的預算，善用公司資源，以及培養必備的人才，更要全面性的進行員工的教育訓練。此外，由於虛實整合系統的建置是高度的專業，因而需要借助外界的資源及專家來協助，公司更需要建立智能製造的推動團隊來密切的配合。



參考文獻：

- [1] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- [2] Kagermann, W. W. H., Helbig, J., & Wahlster, W. 2013. Recommendation for implementing The Strategic Initiative Industry 4.0. Final report of the Industry 4.0 Working Group. *Forschungsunion*, 1-84.
- [3] Obama, Barack. 2010. Obama Signs Manufacturing Enhancement Act into Law. August 11, 2010, Real Clear Politics.
- [4] SMLC 2011, Implementing 21st Century Smart Manufacturing Report. https://smartmanufacturingcoalition.org/sites/default/files/implementing_21st_century_smart_manufacturing_report_2011.
- [5] Vogel-Heuser, Birgit, & Hess, Dieter. 2016. Guest Editorial Industry 4.0—Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 13: 411-13.
- [6] Yang, Hai, Kumara, Soundar, Bukkapatnam, Satish T. S., & Tsung, Fugee, 2019, The Internet of things for smart manufacturing: A review, *IIE Transactions*, 51(11), 1190-1216.
- [7] Yao, X., Zhou, J., Lin, Y., Li, Y., Yu, H., & Liu, Y. 2019, Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(8), 2805-2817.
- [8] Zhong, Ray Y., Xu, Xun, Klotz, Eberhard, & Newman, Stephen T. 2017, Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3, 616-630.