

整合生成式 AI 與數位工具鏈之跨域學習支持系統設計

A Generative AI-driven Cross-domain Learning Support System with Digital Toolchain Integration

賴綏縈^{1*}, 周育樂¹

¹逢甲大學 工業工程與系統管理學系

* p10000093@o365.fcu.edu.tw

【摘要】本研究提出一套整合生成式 AI 與數位工具鏈之跨域學習支持系統，應用於高職專題導向學習情境。系統採感知層、推理層與執行層三層架構，整合學習者操作資料、AI 推理與回饋機制，以提供即時設計建議與錯誤診斷。學習流程涵蓋問題定義、AI 輔助設計、工具鏈實作與測試修正，形成持續調整之學習歷程。本研究並提出評估架構，從學習行為、問題解決能力與系統思維三面向分析系統對學習歷程之影響。本系統可作為跨域學習與設計實作之支持模式，並展現生成式 AI 於教育應用之潛力。

【關鍵字】 生成式 AI；跨域學習；數位工具鏈；學習支持系統；人機互動

Abstract: This study proposes a cross-domain learning support system integrating generative AI and digital toolchains. The system is applied in project-based learning in vocational high schools. It adopts a three-layer architecture (context, AI logic, and action) to connect user data, AI reasoning, and feedback, providing real-time design suggestions and error diagnosis.

The learning process includes problem framing, AI-assisted design, toolchain-based implementation, and testing and revision. An evaluation framework is proposed to analyze learning behavior, problem-solving ability, and system thinking.

Keywords: Generative AI, Cross-domain Learning, Digital Toolchain, Learning Support System, Human-Computer Interaction

1. 前言

在數位轉型與人工智慧快速發展的背景下，教育逐漸由單一知識傳遞轉向跨域能力培養。然而，現有學習模式在系統整合與即時回饋方面仍有不足，使學習者在設計實作與系統思維建立上面臨挑戰。

近年來，生成式 AI (Generative AI) 在知識生成、設計輔助與即時回饋方面展現潛力，為學習支持系統帶來新的發展契機。研究指出，生成式 AI 可作為學習支架，提供即時回饋與知識支持 (Kasneci et al., 2023; Holmes et al., 2019)。同時，設計導向學習與做中學 (learning by making) 有助於促進知識建構 (Kolodner, 2002; Harel & Papert, 1991)。

基於上述背景，本研究提出一套整合生成式 AI 與數位工具鏈之跨域學習支持系統，以支援設計實作與跨域學習。為回應跨域學習中系統整合與即時回饋不足之問題，並作為後續學習成效與系統思維分析之基礎，本研究關注以下問題：(1) 生成式 AI 與數位工具鏈

之整合如何支持設計實作歷程；(2) AI 即時回饋機制如何影響問題解決與系統思維發展；
(3) 該系統在跨域學習情境中的應用方式與潛在價值。

2. 背景與動機

本章說明跨域能力需求、學習模式限制，以及生成式 AI 所帶來的學習支持契機，並界定本研究所關注之問題。

2.1 數位轉型下的跨域能力需求

隨著工業 4.0 與數位轉型的發展，學習者需整合感測技術、資料分析與系統設計等跨域能力。教育亦由知識傳遞轉向問題解決導向，並強調系統思維，以回應實務需求。

2.2 傳統學習模式的限制與挑戰

在跨領域實作（如 IoT 系統整合或智慧製造）過程中，學習者常面臨以下問題：(1) 認知負荷過重：需同時操作多種數位工具，容易分散學習焦點；(2) 回饋不足：當出現邏輯錯誤或系統配置問題時，難以獲得即時且適切的指引。

2.3 生成式 AI 驅動的學習支持契機

生成式 AI (Generative AI) 具備代碼生成、語意分析與邏輯推理能力，可在學習過程中提供即時回饋與引導。相較於傳統工具，AI 不僅支援知識查詢，亦可作為動態學習支架 (dynamic scaffolding)，協助學習者在設計與實作過程中進行調整。

2.4 本研究關注之問題

綜合上述分析，跨域學習情境中仍存在工具整合不足與回饋延遲等問題，影響學習者在設計歷程中的理解與修正。另一方面，生成式 AI 雖具備即時回饋與知識支持的潛力，但多數應用仍以對話式系統為主，與實作工具整合有限。

相關研究指出，生成式 AI 可作為學習支架，提供即時回饋與知識支持 (Kasneci et al., 2023; Holmes et al., 2019)，而設計導向學習與做中學有助於促進知識建構 (Kolodner, 2002; Harel & Papert, 1991)。

因此，本研究從系統整合角度出發，關注以下問題：(1) 生成式 AI 與數位工具鏈之整合如何支持設計實作歷程；(2) AI 即時回饋機制如何影響問題解決與系統思維發展；(3) 該系統在跨域學習情境中的應用方式與潛在價值。

3. 系統設計

3.1 系統整體架構

本研究提出一套生成式 AI 驅動之跨域學習支持系統，採模組化設計，整合生成式 AI 與數位工具鏈，以建構具即時回饋與調整能力之學習環境。系統架構如圖 1 所示，包含感知層 (Context Layer)、推理層 (AI Logic Layer) 與執行層 (Action Layer)。

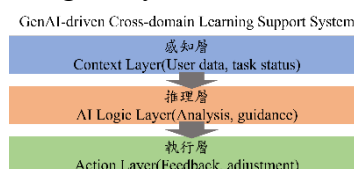


圖 1 系統整體架構圖

(1) 感知層 (Context Layer)：整合數位工具鏈（如開發環境與學習平台），蒐集學習者操作、任務進度與錯誤訊息，形成學習歷程資料。

(2) 推理層 (AI Logic Layer)：生成式 AI 根據操作資料與學習目標進行分析，提供錯誤診斷與設計建議，並依據操作脈絡產生回饋。

(3) 執行層 (Action Layer)：將 AI 生成之建議轉化為具體行動，如參數設定、測試支援與視覺提示，以協助學習者進行修正。

3.2 學習流程與系統特色 (Learning Flow and Key Features)

本系統採任務導向學習流程，包含問題定義、AI 輔助設計、工具鏈實作與測試修正等階段。生成式 AI 持續提供即時回饋與調整建議，支持學習者進行設計與修正。

系統整合以下特色：(1) 跨數位工具鏈整合：支援多工具協作與資料整合；(2) AI 即時回饋與認知支架：依據操作歷程提供回饋與修正建議；(3) 設計實作：透過實作與反覆修正發展成果；(4) 系統思維：促進學習者理解系統間之關聯性。

上述流程與特色形成循環式學習機制 (見圖 2)。系統以學習歷程資料為基礎，從學習行為、問題解決能力與系統思維等面向進行分析，並回饋學習成果。

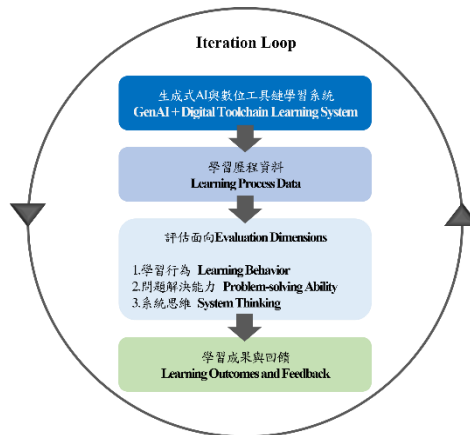


圖 2 學習流程圖

4. 應用場景

本系統應用於高職專題導向之跨域學習情境，結合生成式 AI 與數位工具鏈，支援以真實問題為導向之學習任務。學生需完成跨領域專題 (如智慧環境監測或數位內容設計)，並經歷由問題探究至系統實作之過程。

在學習歷程中，學生依序進行問題界定、設計發展、系統實作與測試修正。生成式 AI 於各階段提供設計建議與即時回饋，系統則透過數位工具鏈監測操作歷程並支援調整。

此一應用情境說明系統如何結合 AI 回饋與工具鏈操作，支持學習者進行跨域整合與問題解決，並形成持續修正之學習歷程。

5. 討論

本研究提出之生成式 AI 驅動跨域學習支持系統，結合設計實作 (Design Making)、人機互動 (HCI) 與數位工具鏈，回應數位轉型情境下跨域學習與系統思維培養之需求。相較於傳統教學模式，本系統強調以實作與修正促進知識建構，並透過生成式 AI 提供即時回饋與學習支架。

從理論觀點來看，本系統呼應學習支架理論 (Wood et al., 1976)，透過適當引導協助學習者完成複雜任務；其設計歷程亦與設計導向學習與做中學之觀點一致 (Kolodner, 2002; Harel & Papert, 1991)，強調反覆操作促進知識內化，並符合以使用者為中心之設計原則 (Norman, 2013)，展現數位科技於學習支持上的應用潛力 (Dede, 2014)。

生成式 AI 由輔助工具轉為互動支援機制。透過三層架構，系統可依據操作脈絡提供即時回饋，使學習者在面對錯誤或設計瓶頸時進行修正，形成回饋、修正與再實作之循環歷程，有助於提升問題解決能力。

系統結合做中學與數位工具鏈應用，促進跨域知識整合與系統層級理解。為分析學習支持效果，本研究採用前述評估架構（見圖 2），從學習行為、問題解決能力與系統思維等面向進行分析。

本研究以系統設計與應用情境為主，尚未進行實證驗證。未來可透過實驗設計或學習分析方法，進一步探討其對學習成效、認知負荷與學習動機之影響，並強調人機協作之學習模式（Mollick, 2024）。

6. 結論

本研究提出一套整合生成式 AI 與數位工具鏈之跨域學習支持系統，透過感知、推理與執行三層架構，系統可在學習歷程中提供即時回饋與引導，支持設計實作與問題解決，並促進跨域知識整合。

相較於傳統教學模式，本系統強調生成式 AI 於學習歷程中的支援角色，並透過數位工具鏈整合形成循環回饋機制，以促進系統思維與跨域能力之發展。

此外，本文提出一評估架構，用以分析學習行為、問題解決能力與系統思維，作為後續實證研究之基礎。

本研究以系統設計與應用情境為主，尚未進行實證驗證。未來研究可透過實驗設計或學習分析方法，探討系統對學習成效、認知負荷與學習動機之影響，並持續優化人機互動與工具鏈整合機制。

參考文獻

Dede, C. (2014). The role of digital technologies in deeper learning. *Students at the Center*.

Harel, I., & Papert, S. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education*. Center for Curriculum Redesign.

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdinger, F. W., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Kolodner, J. L. (2002). Facilitating the learning of design practices. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3).

Mollick, E. (2024). *Co-intelligence: Living and working with AI*. Wharton School Press.

Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things*. Basic Books.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>