

張仁誠、賴慧敏 (2023), 「機器人程式設計教育對運算思維之影響：文獻計量分析及系統性文獻回顧」, *資訊管理學報*, 第三十卷, 第四期, 頁 377-418。

機器人程式設計教育對運算思維之影響：文獻計量分析及系統性文獻回顧

張仁誠

國立臺灣師範大學科學教育研究所

賴慧敏*

國立臺中科技大學企業管理系

摘要

為瞭解機器人程式設計教育對運算思維之影響，以文獻計量法和系統性文獻分析 70 篇此領域 2006-2022 收錄在 Web of Science 和 Scopus 的文章，發現如下：(1) 2016 年後文章數量快速上升，複合年增長率 40.04%，此領域逐漸受到重視，研究正快速成長。(2) 文獻計量分析發現此領域驅動主題有 STEM 與建構主義，小眾議題為師資生教育、專題導向學習與不插電活動，新興議題為視覺化程式設計，潛在議題有小學教育、K-12 與幼童等議題。(3) 系統性文獻分析發現此領域研究方法包括實驗法、質性研究、文獻分析和調查法，並探討不同教學方法對學生運算思維的影響。運算思維廣泛應用於多種學科，有多種評量方法評估運算思維技能。此領域教育系統 K-12 最多，高等教育次之，多數研究證實程式設計教育中機器人介入對運算思維有正面影響。

關鍵字： 機器人、運算思維、程式設計教育、文獻計量法、系統性文獻分析

* 本文通訊作者。電子郵件信箱：hmin@nutc.edu.tw
2023/04/20 投稿；2023/09/20 修訂；2023/10/05 接受

Zhang, R. C. & Lai, H. M. (2023). The Impact of Robot Programming Education on Computational Thinking: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *Journal of Information Management*, 30(4), 377-418.

The Impact of Robot Programming Education on Computational Thinking: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review

Ren-Cheng Zhang

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Hui-Min Lai *

Department of Business Administration, National Taichung University of Science and Technology

Abstract

To understand the impact of robot programming education on computational thinking, this study conducted a bibliometric analysis and a systematic literature review of 70 articles published in this field from 2006 to 2022, sourced from *Web of Science* and *Scopus*. The findings were as follows: (1) The number of articles increased rapidly after 2016, with a compound annual growth rate of 40.04%. This trend shows the increasing attention and growing interest in this field of research. (2) The bibliometric analysis identified several prominent themes in the field, including science, technology, engineering, and mathematics (STEM) together with constructivism as motor themes; student teacher education, project-based learning, and unplugged activities as niche themes; and visual programming as an emerging theme. Basic themes include primary school, K-12, and early childhood education. (3) The systematic literature analysis revealed that the research methods in this field included experimental methods, qualitative research, literature analysis, and survey methods. These methods were utilized to investigate the impacts of different teaching approaches on students' computational thinking. Computational thinking was widely used in various disciplines, such as STEM, with diverse assessment methods employed to gauge computational thinking skills. The educational level in this field is K-12, followed by higher education. The majority of studies demonstrated that robot intervention in programming education has a positive impact on computational thinking.

* Corresponding author. Email: hmin@nutc.edu.tw

2023/04/20 received; 2023/09/20 revised; 2023/10/05 accepted

Keywords: Robotics, Computational thinking, Programming education, Bibliometric analysis, Systematic literature review

一、前言

運算思維(Computational thinking)利用電腦科學的基本概念來解決問題、設計系統和理解人類行為 (Wing 2006)。它代表了具備分析能力，進而能解決各種問題的能力 (Shute, Sun, & Asbell-Clarke 2017)。正如 Wing (2006)所說，「運算思維正在將一個看似困難的問題重新表述為一個我們知道如何解決的問題，也許可以通過簡化、嵌入、轉換或模擬來解決」。運算思維是發展一套心智工具能有效地使用電腦來解決複雜的人類問題 (Lu & Fletcher 2009)。而程式設計是培養學生運算思維技能的重要方式 (Buitrago Flórez et al. 2017; Sun, Hu, & Zhou 2021b)，也是 21 世紀學生應具備的能力 (Hsieh et al. 2022; Lai & Wong 2022)。Lu & Fletcher (2009)認為程式設計是進入更高運算思維的入口。許多研究表明運算思維和程式設計有關，但程式設計技能不等於運算思維 (Shute et al. 2017)。運算思維是每個人的基本技能，不僅僅只是電腦科學家 (Wing 2006)，運算思維反映了一種更抽象的技能，可用於解決任何開放式的問題 (Anderson 2016)。由於教育現場的教師常使用程式設計課程來培養學生的運算思維技能，然而對所有年齡的初學者(新手)來說，學習程式非常困難，語法問題常會使人沮喪 (Kelleher & Pausch 2005)，因此教師積極尋找教導程式設計用以提高運算思維技能的教學策略 (Wei et al. 2021)，例如使用視覺化程式設計 Scratch, Alice, Code.org and Lego Mindstorms 來簡化程式設計過程，不用記住語法來培養學生的運算思維技能 (Lee et al. 2021)，有些教師會讓學生學會控制實體機器人動作來培養運算思維技能 (Chevalier et al. 2022)，或將合作問題解決模式整合到程式設計和運算思維教育，以促進新手學習成效 (Lai & Wong 2022)。

綜上所述，程式設計及教育機器人能發展學生的運算思維技能，本研究旨在探究機器人程式設計教育與運算思維的研究文獻的現況，瞭解目前文章的發表趨勢及未來研究可以深入探究的主題。本研究以機器人、運算思維及程式設計教育為關鍵字，進行文獻分析。先透過文獻計量分析，深入了解目前的文章發表狀況，以及此領域的研究主題地圖，之後再透過系統性文獻回顧進一步歸納機器人程式設計教育中培養運算思維的研究方法與研究發現。具體而言，探討以下研究問題：

1. 機器人程式設計教育及運算思維的研究發表趨勢為何？以及最常發表的期刊為何？
2. 機器人程式設計教育及運算思維的文章中目前擁有最高的引用之參考文獻為何？
3. 機器人程式設計教育及運算思維及領域中，有哪些研究主題？
4. 機器人程式設計教育及運算思維文章的研究方法與主要發現為何？

二、機器人程式設計教育及運算思維

(一)、運算思維的定義

運算思維的議題很流行，但運算思維的概念是模糊的 (Sun, Hu, & Zhou 2021a)。運算思維可以簡單地定義為個人具有知識、技能和態度，能夠使用電腦

來解決日常生活問題 (Korkmaz, Çakır, & Özden 2017)。Shute et al. (2017)定義運算思維為個人能夠有效率和有效地解決問題(意即算法，有或沒有電腦的幫助下)所需的觀念基礎，以及可以在不同的環境中重複使用解決方案。因此，即使個人無法使用電腦來建立解決方案，能夠使用運算概念來理解和思考問題也是相當重要的 (Angeli 2022)。

運算思維的組成面向亦是百家爭鳴。例如：Brennan & Resnick (2012)描述Scratch 相關的三個運算思維維度：(1)運算概念(Computational concepts)：編寫程式時的概念，例如：序列(Sequences)、迴圈(Loops)、事件(Events)、平行計算(Parallelism)、條件(Conditionals)、運算子(Operators)和資料(Data)等；(2)運算實務(Computational practices)：發展程式的問題解決實務，例如增量(Incremental)、迭代(Iterative)、測試(Testing)、除錯(Debugging)、重用(Reusing)、混合(Remixing)、抽象化(Abstracting)、模組化(Modularizing)；(3)運算視角(Computational perspectives)：了解真實世界的問題，例如：表達(Expressing)、連結(Connection)和質疑(Questioning)。Selby & Woollard (2013)定義運算思維是認知和思維的過程，結合了思維過程中的抽象(Abstraction)、分解(Decomposition)、演算法設計(Algorithmic design)、評估(Evaluation)和通用(Generalization)，並反映在上述的五種能力上。Angeli et al. (2016)認為運算思維的因素包括：(1)抽象(Abstraction)：決定保留和忽略哪些資訊的技能。(2)通用(Generalization)：以通用術語訂定解決方案的技能，以便它可以應用到不同的問題。(3)分解(Decomposition)：將複雜的問題分解成更容易理解和解決更小問題的技能。(4)演算法(Algorithms)：設計一套逐步解決問題的操作和行動的技能。(5)除錯(Debugging)：識別、刪除和復原錯誤的技能。Anderson (2016)認為運算思維包括五個主要步驟，(1)分解(Decomposition)：將整個問題分解成為一系列可管理的步驟。(2)模式識別(Pattern recognition)：尋找問題相似之處，可用於更有效地設計解決方案的重複模式。(3)抽象化(Abstraction)：模式可以被抽象化，然後以通用的形式表示。(4)算法設計(Algorithm design)：問題解決者以系統化的方式設計解決方案。(5)評估(Evaluate)：問題解決者需要評估算法以確保包含了所有必要的步驟以獲得一個全面性的方案。Munoz-Repiso & Caballero-Gonzalez (2019)的運算思維技能包括三個維度：序列(Sequence)、動作-指令對應(Action-instruction correspondence)和除錯(Debugging)。Ardito, Czerkawski, & Scollins (2020)指出機器人運算思維技能包括工程設計(Engineering)、程式(Coding)、問題解決(Problem solving)和合作(Collaboration)技能。Kert, Erkoç, & Yeni (2020)定義運算思維技能包括算法設計(Algorithm design)、問題解決(Problem solving)、資料處理(Data processing)、基本程式設計(Basic programming)和自信心(Self-confidence)。Sen, Ay, & Kiray (2021)認為3D 機器人建模活動的運算思維包括了五種技能：算法思維(Algorithmic thinking)、創造力(Creativity)、批判性思維(Critical thinking)、問題解決(Problem solving)、溝通(Communication)和合作(Cooperativity)技能。Lai & Wong (2022)認為運算思維實踐包括七項：分解問題(Decomposing a problem)、抽象模

式(Abstracting patterns)、設計演算法(Designing algorithms)、自動化流程(Automating processes)、問題排除(Troubleshooting)和創造產品(Creating artefacts)。Shahin et al. (2022)認為運算思維實踐涵蓋規劃(Planning)、分解問題(Decomposition)、抽象化(Abstraction)、通用(Generalisation)、算法(Algorithm)、測試和除錯(Testing and debugging)、合作(Collaboration)等七項技能。

綜上所述，目前為止在運算思維的定義及組成構面相當廣泛。運算思維是每個人的基本技能，而不僅僅只是電腦科學家 (Korkmaz et al. 2017)。從過去研究探討的組成構面可以發現運算思維和程式設計(programming, develop a program)或編碼(coding)有關。而程式設計環境被廣泛認為可能是視覺化程式設計(Visual programming)、機器人程式設計(Robotics programming)、文字程式設計(Text programming)和其他不插電學習活動(Unplugged learning activities)整合程式設計概念 (Shute et al. 2017)。

(二)、機器人在教育的應用

1976年推出LEGO後，機器人影響了STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育，1996年發表Lego Mindstorms加入模組感測器和電機裝置，成功發展教育機器人 (Bascou & Menekse 2016)。虛擬機器人和程式設計平台，例如Alice, Greenfoot, Scratch, PlayLogo3D相繼出現，使得學生可以拼砌組成機器人、寫程式控制機器人及透過與機器人的互動來學習 (Bascou & Menekse 2016; Paliokas, Arapidis, & Mpimpitsos 2011)。近年來，一些機器人競賽活動，如FIRST 樂高聯賽(FIRST® LEGO® League)，國際奧林匹克機器人大賽(World Robot Olympiad)，機器人世界盃(RoboCup)等鼓勵學生融合STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)，這些競賽具有機器人和運算思維的共同概念和技能 (Pou, Canaletta, & Fonseca 2022)，加速機器人在教育的應用。

教育機器人有助於認知和社交技能的發展 (Kálózi-Szabó, Mohai, & Cottini 2022)。Chang et al. (2010)提出機器人有七個特性：(1)重複性(Repeatability)：機器人可以毫無怨言地執行簡單和重複的動作；(2)靈活性(Flexibility)：機器人的靈活性可以使教師根據教學需要調整和設計適當的機器人來支援教學活動；(3)數位化(Digitization)：機器人可做為教學工具，數位資料可以共享和保存。(4)人形外觀(Humanoid appearance)：機器人會激發學生的好奇心，長得像人的機器人更有吸引力。(5)身體動作(Body movement)：有手勢的機器人可以提高學習動機，在說話時使用適當的手勢來引導學生。(6)互動性(Interaction)：機器人可以與人互動，這些互動記錄可以進一步分析，教師可以更詳細地瞭解學生的學習狀況。(7)擬人化(Anthropomorphism)：雖然機器人的外觀或動作可以像是一個真人，但是它們不是真人，學生不用擔心出錯被嘲笑。

機器人技術不僅僅只是建造出一個實體，讓機器人“活”起來需要電腦程式，透過算法或序列指令，允許機器人移動、感知和回應環境的變化 (Bers 2010)。過去研究也指出學生喜歡具有更多互動、連結性和程式功能的機器人 (Paucar-Curasma et al. 2022)，機器人程式設計教育對運算思維技能的發展有顯著

貢獻 (Chiazzese et al. 2019; Noh & Lee 2020)。有實體機器人及視覺化的程式設計環境(如 Scratch, code.org, Kodu, Blockly, CodeMonkey)會比只有在視覺化的程式設計環境，學生在算法設計的表現會更好，因為學生的注意力有限，實體機器人提供的即時和物理的回饋是重要的 (Wu & Su 2021)。Kert et al. (2020)的研究也證實機器人進行程式設計教育比起視覺化積木程式在算法設計和資料處理的技能表現得更好。研究指出在課堂中使用虛擬機器人可以減少實體機器人的機械故障或錯誤，機械錯誤會分散對程式概念的注意力，虛擬機器人降低新手撰寫程式的認知負荷，成本也比較低，課堂上可以讓更多的人使用 (Witherspoon et al. 2017; Witherspoon & Schunn 2019)。

Pozzi, Prattichizzo, & Malvezzi (2021)認為機器人技術是一門跨領域的學科，涉及工程領域(例如：機械、電子和電腦科學)、人類物理領域(例如：生理學、人體工程學和解剖學)、人類非物理領域(例如：心理學、倫理學和經濟學)。機器人需要利用不同學科來建立，引導學生獲得豐富的跨學科經驗 (Funk et al. 2022)。雖從不同的學科來探討機器人技術，但建立共同的知識基礎，如術語、概念等是需要的，可以促進共同的討論和合作 (Pozzi et al. 2021)。Funk et al. (2022)認為當教師在課堂引入教育機器人時，要同時考慮能提升學生學習興趣的教學策略，意即教師思考的不僅僅是使用機器人，還要關注教學環境及問題解決的形式等。這與 Chevalier et al. (2020)的論點是一致的，他們認為一個教育機器人系統的組成包括三個部份：一個或多個教育機器人、允許人與機器人互動的介面及要執行的一個或多個任務。Chevalier et al. (2020)提出一個創造性運算思維解決(Creative computational problem solving, CCPS)模型，用來評估學生在機器人教育系統下會經歷運算思維技能發展的不同階段：理解問題(Understanding the problem)、產生想法(Generating ideas)、制定行為(Formulating the behavior)、為行為建立程式(Programming the behavior)及評估解決方案(Evaluating the solution)。

Bertacchini et al. (2022)指出教育中定位機器人可以從三個觀點。第一個觀點認為機器人技術是學習目標(robotics as a learning goal)，例如：Ahn et al. (2020)分享教育機器人開放原始碼平台，用來強化機器人的設計，以完成不同的任務，在他們的研究中開發一種手部機器人有助於學習靈活度高的任務；另一種是腳部機器人，有助於敏捷的腿部動作任務。第二個觀點將機器人技術視為學習輔助工具(robotics as a learning aid)，例如：將機器人視為教學輔助工具或幫助有特殊需要的學生的一種輔助工具 (Chang et al. 2010)。Fülöp et al. (2022)指出機器人是很好的可視化工具，學生可以借助可視化進行程式設計，獲得更深入的理解，有助於發展運算思維。Ou Yang, Lai, & Wang (2023)證實在程式設計課堂上使用擴增實境開發的虛擬教育機器人，因為其具有3D視覺回饋及自動評分功能，能提升學生的算法設計及算法效率的技能。第三個觀點將機器人技術視為增強學生學習的工具(robotics as a learning tool)，透過教育資源來教導和學習機器人主題。Pozzi et al. (2021)認為教育可以提高對機器人系統的認識和傳播，需要更多容易取得的教材來教導和學習機器人技術，例如：MOOC 課程教導機器人基礎知識，YouTube

主題頻道提供有用的教材來學習機器人主題、Podcast 透過聲音傳播內容並引起興趣，TED 演講提供不同的角度(從技術到心理學、藝術和歷史)來討論機器人技術和研究成果等。

三、研究方法

(一)、文獻搜尋標準

本研究利用 WOS (Web of Science)與 Scopus 資料庫搜尋機器人、程式設計教育及運算思維相關研究，在資料庫中以主題、關鍵字與摘要有 robot OR robotic (主題) AND programming education (主題) AND computational thinking (主題)，為提升文獻分析的嚴謹度，以文章完整性為考量，將文章類型 Article 與 Review Article 設定為檢索條件進行文獻檢索。檢索條件設定如表 1 所示，時間為 2006 至 2022 年的發表文章。其中由 WOS 獲得 94 篇文章，Scopus 資料庫獲得 58 篇文章，其中重複文章 32 篇，最後共獲得 120 篇。文獻搜尋採用 PRISMA 流程，如圖 1。

(二)、文獻篩選過程

由於文獻數量多且需確定文獻內容，兩位研究者先進行文獻初步篩選。兩位研究者設定以下條件：(1) 排除不相關的研究；(2) 挑選以程式設計教育為主體的研究；(3) 在文章中確實使用機器人、運算思維進行的實徵研究。經兩位研究者檢視後，兩位研究者皆認為符合條件有 68 篇，不符合上述條件有 95 篇，兩位研究者意見不一致有 7 篇，經討論後再納入 2 篇，最終獲取文獻共 70 篇。

(三)、研究者間的信度評估

兩位研究者的評分者信度 $kappa = 0.92$ ，有高度一致性，結果如表 2 所示。之後將初步篩選後的論文($n = 70$)進行文獻計量分析 (Bibliometric analysis)，其中可獲取全文之論文($n = 70$)進行系統性文獻回顧 (Systematic literature review)。

表 1：檢索設定

資料庫	檢索條件
Web of Science	of (((((((((TS=(robot)) OR TS=(robotic)) AND TS=(programming education)) AND TS=(computational thinking)) AND PY=(2006-2022)))))) AND DT=(Article OR Review)) AND LA=(English)
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (robot OR robotic) AND TITLE-ABS-KEY (programming AND education) AND TITLE-ABS-KEY (computational AND thinking)) AND PUBYEAR > 2005 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final"))

表 2：研究者一致性檢定分析表

		A 研究者		
		不符合	符合	合計
B 研究者	不符合	95	6	101
	符合	1	68	69
	合計	96	74	170

(四)、文獻計量分析與流程

本研究使用文獻計量學方法，以 Bibliometrix 為工具，分析了教育機器人於程式設計課程中運算思維的研究現況。Bibliometrix 是一款基於 R 語言的套件，可分析文獻引用、作者、期刊、關鍵字等的變化趨勢和研究熱點(Aria & Cuccurullo 2017)。選擇 Bibliometrix 做為論文分析工具，因其能快速且全面地分析大量文獻資料，並提供豐富的視覺化功能，有助於更好地了解研究現況和趨勢。此外，本研究利用系統性文獻回顧總結研究方法的議題、運算思維衡量的議題、不同教育系統的議題及教師專業發展的議題，以回答研究問題四－機器人程式設計教育及運算思維文章的研究方法與主要發現為何？有助於瞭解未來研究方向。

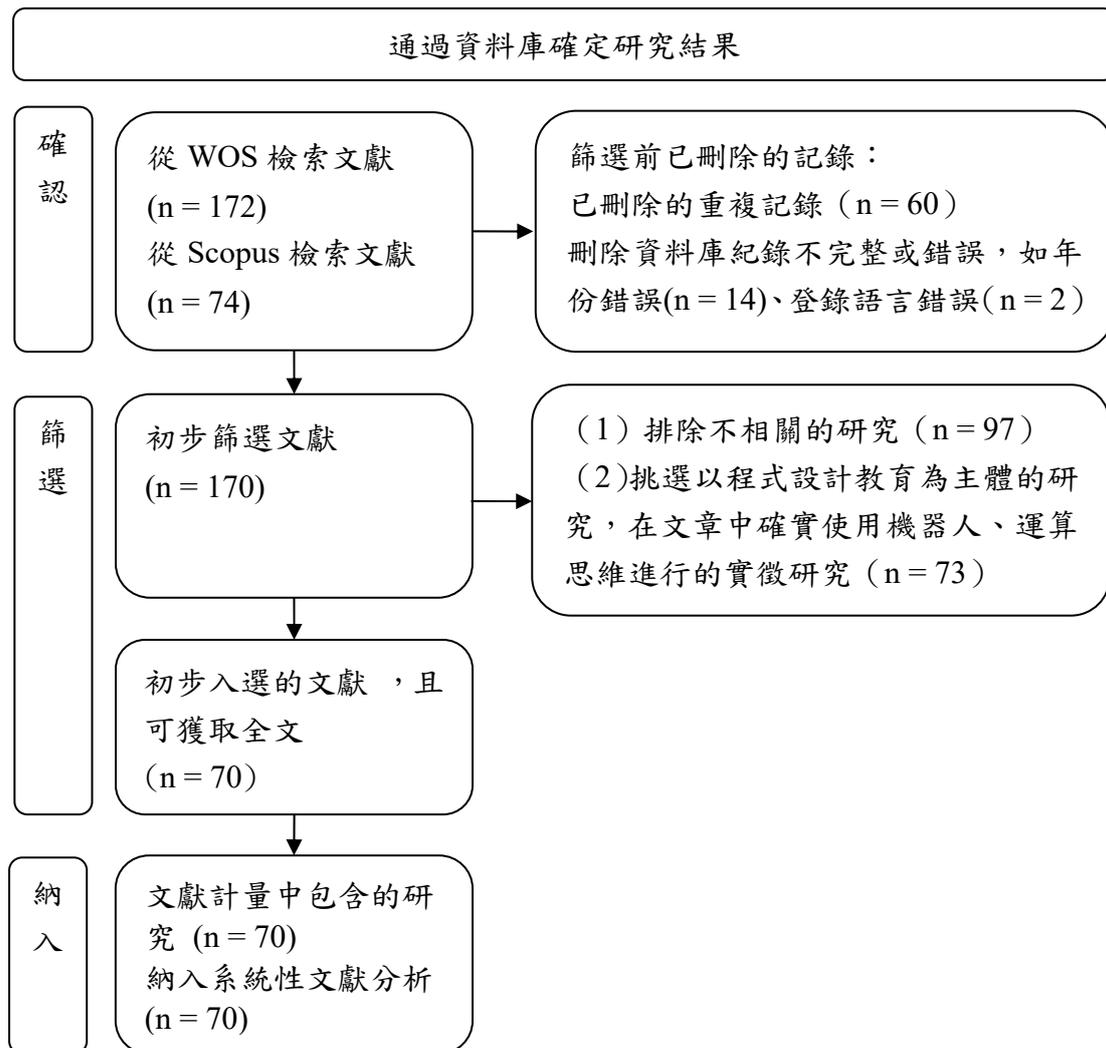


圖 1：PRISMA 選擇文獻流程圖

四、文獻計量分析結果

(一)、機器人程式設計教育與運算思維之研究發表現況

表 3 顯示納入文獻計量分析及系統性文獻回顧的 70 篇論文的基本資訊。這些文章已發表在 52 個期刊，發表年份介於 2012-2022 之間，平均作品年份為 2.63 年，顯示大部分研究都在近幾年發表，屬於較為新興的研究主題。每篇論文的平均引用次數是用總引用次數除以論文總數來計算的，這些文章平均引用了 24.77 篇文章，引用的文章數頗為豐富。文章使用關鍵字數量總共 210 個，平均每篇文章使用 3 個關鍵字。每篇文章平均有 3.63 位作者，單一作者文章為 4 篇，作者合作指數(Collaboration Index, CI)則使用 Elango & Rajendran (2012)的公式 $CI = \frac{\text{作者總數}}{\text{聯合論文總數}}$ ，機器人於程式設計教育運算思維研究中 CI 值為 17.14，屬於高度合作的研究領域。

(二)、機器人程式設計教育與運算思維之研究發表趨勢

本研究第一個研究問題，機器人程式設計教育及運算思維的研究發表趨勢為何？以及最常發表的期刊為何？圖 2 顯示 2012 年至 2022 年使用機器人在程式設計教育運算思維研究的增長情況。2012 年到 2016 年期間該領域的研究並沒有明顯的增長，但是在 2016 年之後，研究呈現快速蓬勃的發展，研究複合年增長率(Compound Annual Growth Rate) 為 40.04%，顯示此議題在近年受到重視，研究量正快速成長。圖 3 為 2012 年到 2022 年最常發表的期刊，第一名為 Computers & Education、第二名為 British Journal of Educational Technology、第三名為 Education and Information Technologies、第四名為 Education Sciences、第五名為 Sustainability、第六名為 Frontiers in Psychology、第七名為 IEEE Transactions on Learning Technologies、第八名為 Interactive Learning Environments、第九名為 International Journal of Child-Computer Interaction 及第十名為 International Journal of Technology and Design Education。

表 3：文獻基本資訊一覽

描述	結果
時間跨度	2012-2022
期刊來源	52
研究量	70
平均參考文獻引用量	24.77
參考文獻數	3084
關鍵字數量	210
單一作者文章數	4
平均作者數	3.63
作者合作指標	17.14

註：檢索設定 2006 至 2022 年，但 2012 年才有符合本研究選取標準的文章

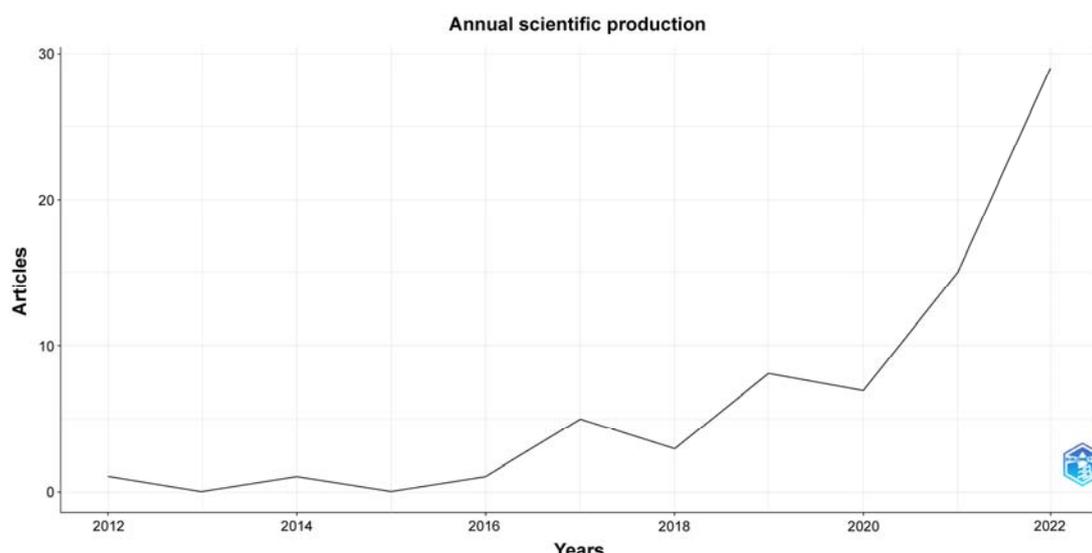


圖 2：機器人在程式設計教育運算思維研究之發表趨勢

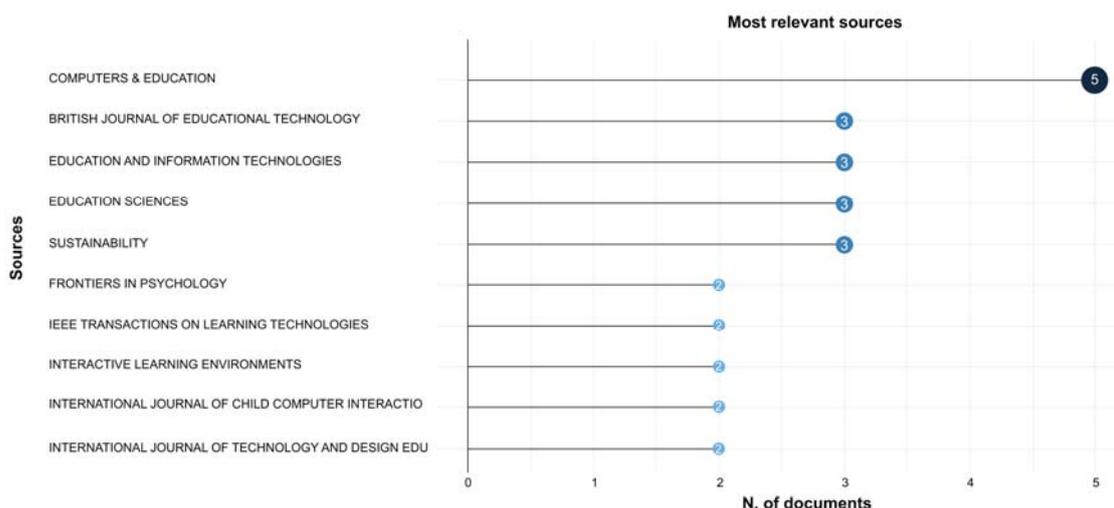


圖 3：機器人在程式設計教育運算思維研究之最常發表的期刊

(三)、機器人程式設計教育與運算思維之研究引用分析

圖 4 顯示機器人程式設計教育運算思維研究參考文獻的引用情況。這些引用提供有關該領域最重要文獻的資訊。其中，Wing (2006) 的研究特別受到關注，該研究強調運算思維的概念及其在現代社會的重要性。作者認為，運算思維不僅僅是電腦科學家的技能，而是一種普遍的態度和技能，每個人都應該學習。運算思維包括使用電腦科學的基本概念來解決問題、設計系統和理解人類行為。這種思維方式需要在多個抽象層次上思考，結合數學和工程思維，不僅僅是機械的程式設計技能。作者還指出，運算思維對多個學科都有潛在影響，通過提供新的思考方式和問題解決途徑，有望改變這些領域。總之，Wing (2006) 的研究凸顯運算思維做為每個人基本技能的重要性，並呼籲將其納入更廣泛的教育中，包括學齡前學生，以促使人們參與電腦科學的知識探索，使運算思維成為常見實踐之一。

第二篇最常引用的參考文獻是 Bers et al. (2014)的研究，該研究探討通過參與建構式機器人活動，幼兒在學習電腦程式設計和運算思維方面的潛在優勢。研究使用 TangibleK 機器人課程，結合建構主義教學方法，用以教授幼稚園學生編程技巧、機器人概念、問題解決和推理能力。結果顯示，四歲的孩子對課程的概念和技能表現出濃厚興趣，並且有能力學習。這項研究基於 Papert (1980)的建構主義理論，該理論認為當孩子參與建立自己的有意義專題時，他們能夠實現深入的學習。TangibleK 機器人課程運用適齡的程式設計和機器人工具，吸引孩子參與，同時培養運算思維技能，包括問題的陳述、產生系統性解決方案和實施、探索多種潛在解決方案、多層次的問題解決能力、積極面對失敗的態度以及應對開放性和複雜問題的策略。該課程旨在鼓勵上述六種行為，以促進有益的核心認知和社會特質的發展。Bers et al. (2014)的研究結果清楚顯示，所選的概念對於幼稚園孩子來說是可以理解和掌握的，這擴展幼兒機器人和程式設計課程的發展，也為修訂和改進這些課程提供了重要的指導方向。

第三篇為 Grover & Pea (2013)，這是一篇關於 K-12 教育中運算思維狀況的評論。文章討論運算思維的定義，以及為何運算思維在教育中很重要。文章提到 Wing (2006)是有影響力的運算思維文章，以及如何在該領域引起興趣和研究。它也討論對運算思維的定義缺乏共識和混淆，以及運算思維在課程的位置。文章探討不同的觀點和運算思維的定義，並強調促進和評估運算思維發展的努力。文章最後強調運算思維在現代世界的重要性，以及所有學生都需要發展運算思維能力，在學校教授程式設計和運算思維越來越受到全球的關注。

第四篇為 Papert (1980)這本書是一個重要的教育心理學和教育技術方面的經典之一。在這本書中，Papert 探討兒童如何通過使用電腦和程式設計來發展重要的思維能力，並強調建構主義教育方法的價值。他提出 LOGO 程式語言和 Turtle 機器人做為教學工具，這些工具旨在幫助兒童更好地理解數學和運算思維。這本書對於運算思維和教育領域的研究和實務產生深遠的影響，並繼續被廣泛引用和討論至今。

第五篇為 Wing (2008)之研究，本文探討運算思維的概念，這是一種基於運算概念和原則的解決問題、系統設計和理解人類行為的方法。文章探討運算思維如何改變統計、生物學和經濟學等各個領域，以及如何用於建模和分析複雜系統和大數據。文章提出教育工作者面臨的教授運算思維給孩子們的挑戰，並提出相關問題，例如辨識運算思維的基本概念、確定不同學習者概念的最有效順序，以及將工具（即電腦）融入教學概念。文章強調運算思維已成為所有領域每個人的重要技能，並且可以從小學習以準備投入社會。文章強調運算思維在驅動創新和發現方面的重要性，並提出如何培養各個年齡層學生運算思維技能的建議。

第六篇為 Atmatzidou & Demetriadis (2016)的研究，主要探討教育機器人對學生運算思維能力的影響。研究結果顯示，不論性別和年齡，學生的運算思維能力都能達到相同水平，但女生通常需要更多的訓練時間才能達到男生的水平。研究還發現，運算思維能力需要時間才能完全發展，學生的分數在活動的最後階段有

所提高。此外，研究還提到不同形式的運算思維能力評估工具（書面和口頭）可能會影響學生的表現。文章強調運算思維做為每個人的基本技能的重要性，並描述在中學實施教育機器人活動以提升學生的高階思維和問題解決能力。它也強調教育機器人在促進團隊合作、概念理解、批判思維以及數學和科學等高階學習方面的優勢。文章回顧各種運算思維模型的應用，同時指出需要進一步研究以了解如何有效地教授和評估運算思維技能，特別是在不同年齡群體中。

第七篇為 Lye & Koh (2014) 之研究，主要討論在 K-12 教育中通過程式設計教授與學習運算思維的回顧。作者們討論運算思維的三個維度：運算概念、運算實務和運算視角。他們指出，程式設計可以讓學生接觸到運算思維，即使對於非程式專業的學生而言，在日常生活中也是有應用和用途的。本文介紹目前在發展運算思維的程式設計方面的實證研究趨勢，並提出可能的研究和教學影響。作者建議更多 K-12 的實驗研究應該集中在運算實務和運算視角上。他們還建議設計一個基於建構主義的問題解決學習環境，以促進運算思維。本文強調在 K-12 教育中引入程式設計的重要性，並強調需要考慮如何將其與教育成果相關聯，以培養批判性思維和問題解決的能力。

第八篇為 Benitti (2012) 之研究，這篇文章探討機器人做為學校教育工具的潛力，通過對該主題的文獻進行系統性回顧。文中提出三個研究問題：（1）機器人在學校中教授哪些主題/科目？（2）學生的學習如何評估？（3）機器人是否是一種有效的教學工具？作者通過嚴格的篩選程序，查閱 197 篇論文，並確定和分析了 37 篇。結果顯示，大部分研究（80%）專注於教授與物理學和數學相關的主題，在其他知識領域的研究相對缺乏。作者發現，機器人可以通過培養問題解決能力、邏輯思維和科學探究能力來幫助和促進相應主題的學習。此外，研究強調需要進行更多量化評估學習的研究，以擴大機器人在其他知識領域的應用。

第九篇為 Brennan & Resnick (2012)，主要講述如何通過設計為基礎的學習活動，特別是在 Scratch 編寫互動式媒體，來培養年輕人的運算思維。作者發展一個運算思維框架，包括三個維度：運算概念、運算實務和運算視角。文章還介紹作者們對這些維度進行評估的方法，包括專題作品分析、基於作品的訪談和設計情境。文章還包含年輕人使用 Scratch 建立的範例，展示運算思維概念和實務的實際應用。

最常引用的參考文獻第十篇為 Chen et al. (2017) 基於電腦科學教師協會標準的運算思維框架，開發一種評估五年級學生運算思維能力的研究工具。這些題目在兩種類型的運算思維應用程式（機器人編碼和日常事件推理）進行測試。該量表在一所小學五年級學生的人形機器人課程中進行前後測。研究結果表明，該量表具有良好的心理測量特性，可以測量學生在運算思維方面的學習挑戰和成長。

上述十篇研究集中探討運算思維、程式設計教育和教育機器人對運算思維的影響。這些研究提供深入的理解，闡述運算思維的概念和實際應用，以及教育機器人在培養運算思維技能方面的潛在效益。這些研究結果強調運算思維做為一種

重要技能的價值，並提供在不同年齡和教育層次中教授運算思維的方法、架構和工具。

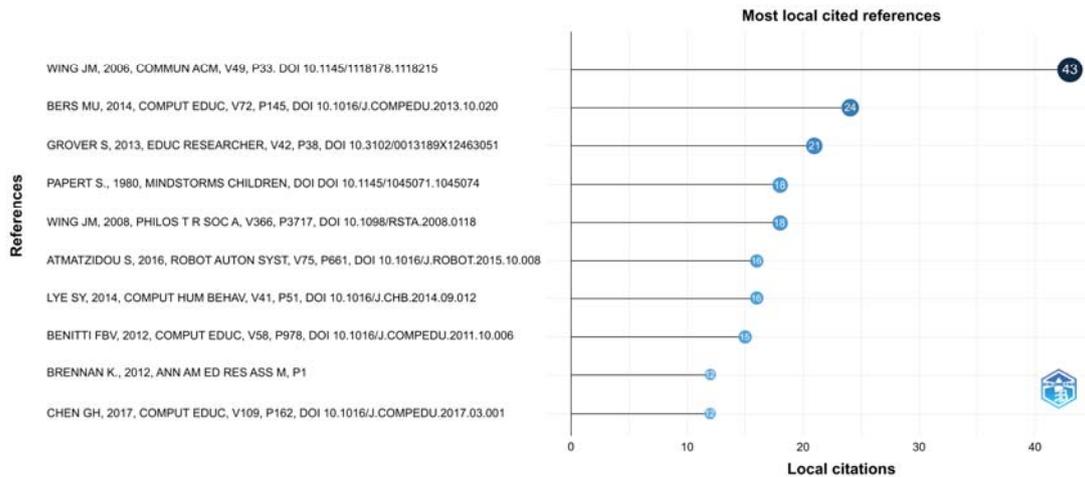


圖 4：目前引用率最高的前 10 名文章

(四)、機器人程式設計教育與運算思維研究之關鍵字趨勢

本研究的第三個研究問題：機器人程式設計教育及運算思維及領域中，有哪些研究主題？因此，本研究透過文章作者提供的關鍵詞的集群分析評估研究趨勢，用以找出主題中的可能缺口，並做為研究領域重要的研究字詞分析。在排除本研究檢索時所設定的相關關鍵字如，“robots”，“robotics”，“educational robots”，“educational robotics”，“robot programming”，“computational thinking”，“robot programming”，“computational thinkings”，“education”，“thinking”，“education computing”，並將相似關鍵字合併，如“elementary education”與“elementary school”，“early childhood”與“early childhood education”，“k-12”與“k-12 education”以及“stem”與“stem education”等。可以獲得該領域研究除了檢索字之外探究之相關議題，並讓關鍵字更加簡潔。

圖 5 呈現前 10 名使用關鍵字數量，可以發現最常使用的關鍵字依序為小學教育“elementary education”(8 次) 這指出部分研究主要聚焦在小學階段的教育，暗示這些研究的目標對象是小學生。兒童“early childhood”(7 次) 表明這些研究關注於幼兒教育，強調在兒童早期階段培養運算思維的重要性。問題解決“problem-solving”(6 次) 這顯示出研究的重心在於培養學生的問題解決能力，這是運算思維的核心能力之一。科學、科技、工程和數學“STEM”(5 次) 表明研究與 STEM 相關，這顯示出運算思維在這些學科中的應用和重要性。編碼“coding”(4 次) 指出研究將程式設計做為一種教育方法，用於培養運算思維。K-12 教育“K-12”(4 次) 強調研究範圍包括從幼兒園至 12 年級的整個學習階段。合作學習“collaborative learning”(3 次) 表明研究關注在通過合作和團隊學習來培養運算思維。電腦科學教育“computer science education”(3 次) 指出研究與電腦科學教育相關，強調在教育中引入電腦科學的重要性。自我效能“self-efficacy”(3 次) 表示研究關注學生在運算思維方面的自我效能感。視覺化程式“visual programming”(3

次)，指出部分研究採用視覺化程式設計工具，這種方法通常更適合初學者學習程式語言。這些關鍵字反映研究對於培養運算思維在學齡前至小學階段學生中的應用和重要性的關注。這也強調在教育中引入科技和程式設計以促進學習運算思維的趨勢。

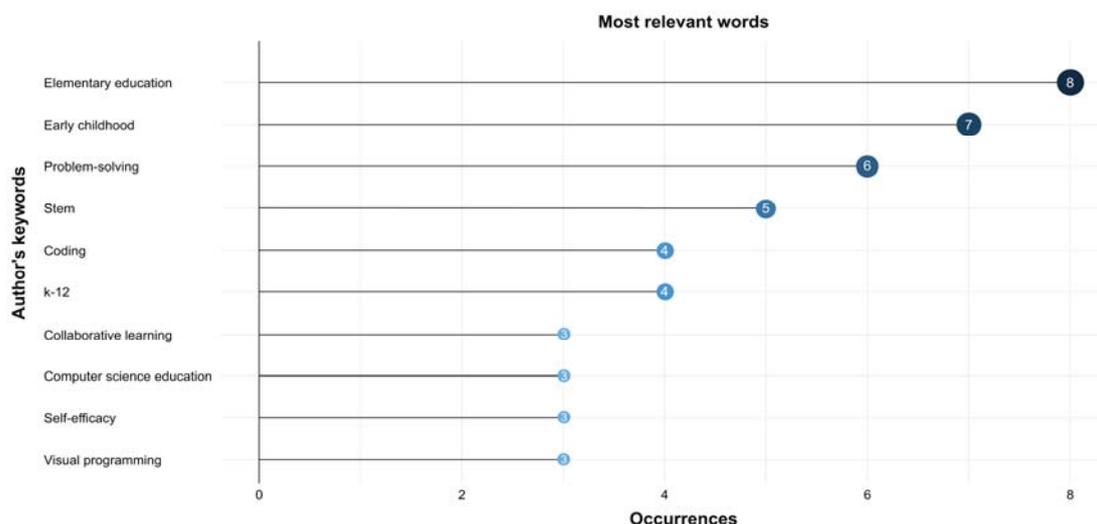


圖 5：機器人於程式設計教育運算思維研究熱門關鍵字及出現次數

本研究使用主題分析方法，通過分析作者的關鍵字集群，以及這些關鍵詞之間的相互聯繫，來確定研究的主題和重要性。主題分析是一種理解研究範圍的方法，它通過建立一個包含關鍵字和從標題或摘要中提取術語的文件術語矩陣，然後計算文件之間相似性來實現 (Aria, Misuraca, & Spano 2020)。這種方法可以識別強關聯的主題集群，每個集群對應一個研究主題，並通過主題地圖來呈現分析結果。主題分析將主題分為四個象限，根據中心性（主題之間的相關程度和重要性）和密度（主題之間的凝聚力和發展潛力）這兩個屬性。中心性和密度用於評估主題的重要性的發展水平。一個主題在主題網絡中與其他主題的相關性越高，它的中心性和重要性就越高，並且處於網絡的核心位置。同樣地，密度表示一個主題領域的集中度，即該主題的發展和內聚程度。在本研究中，最小集群頻率（Min Cluster Frequency）和隨意遊走模型（WalkTrap）被用於設定集群，以識別主題集群。

圖 6 呈現機器人於程式設計教育運算思維研究領域的主題地圖，可區分為四個象限（Q1 到 Q4），以下分述之。

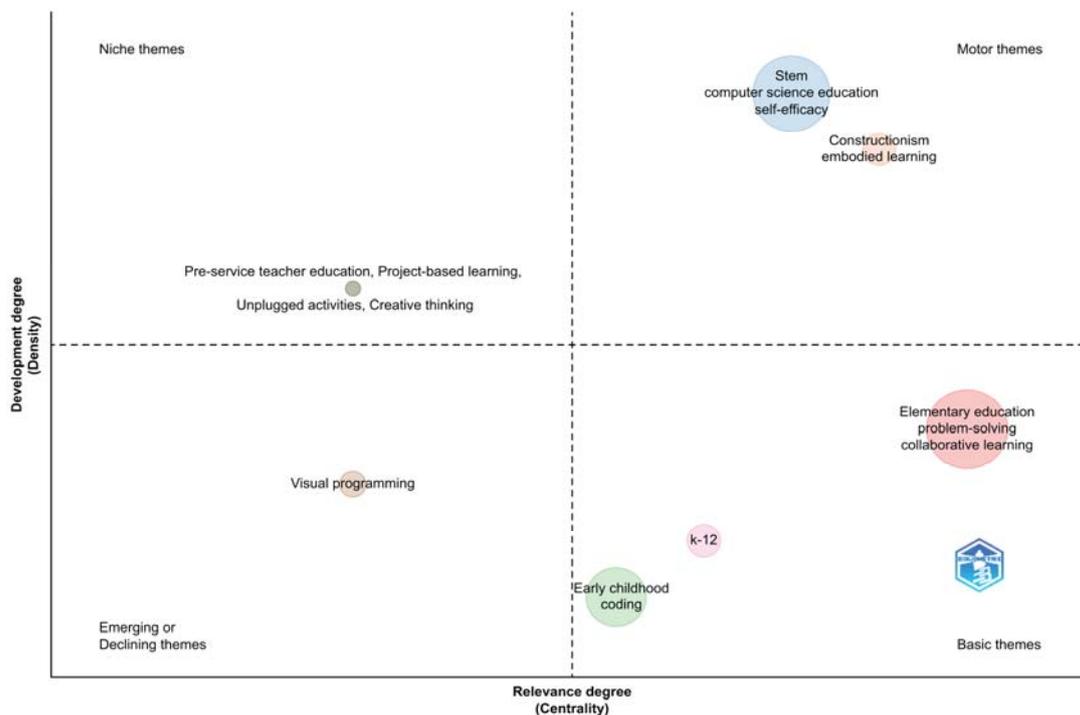


圖 6：機器人於程式設計教育運算思維研究之主題地圖

1. 右上象限 (Q1)：驅動主題

Q1 的結果顯示高中心性和高密度的主題，表示該主題在機器人程式設計教育運算思維研究中具有重要性且與整體相關性高。該主題又有良好的發展研究，可以分為兩個集群，第一個集群為 STEM，其集群關鍵字為 STEM、電腦科學教育(Computer science education)、自我效能(Self-efficacy)、算法思維(Algorithmic thinking)、樂高 WeDo(LEGO WeDo)、心理旋轉¹ (Mental rotation)、科學教育 (Science education)、系統性回顧(Systematic review)，這些研究聚焦於 STEM 或是科學教育領域，探討教育機器人及其在 STEM 教育中的應用和影響。以下是集群中相關研究的介紹。在集群 1 STEM 的相關研究中，共有 10 篇文章，分述如下。

第一篇為 Chiu, Hwang, & Tu (2022)研究進行的系統性文獻審查研究，分析了 56 篇有關教育機器人在科學教育中應用的文章。研究目的是了解這些教育機器人在科學教育中的角色、應用、研究設計和成果。研究發現了三個研究群，分別關注小學科學教育中的機器人、基於機器人的 STEM 活動，以及機器人促進的運算思維。最常研究的問題是教育機器人的一般好處，而多樣性、參與度增加、創造力和動機方面則較少被討論。最常用的研究設計是量化和混合方法，並重點測量學習者的認知和情感。LEGO 和自製機器人是使用最廣泛的機器人類型，用於科學教育工具。在特定的機器人內容知識中，控制和程式設計等主題佔大多數。最常使用的學習策略是專題導向學習(Project-Based Learning)，其次是基於議題

¹ 心理旋轉是一種視覺空間能力，大腦能想像一個 2D 或 3D 物體從原始直立位置旋轉後的樣子 (Shepard & Metzler 1971)。

的討論。問卷調查、觀察、口頭訪談和作品都是用於評估學生表現的常見方法。研究提供文獻計量分析和內容分析的結果，以及研究意涵和未來研究建議。

第二篇為 Kert, Yeni, & Erkoç (2022) 研究，旨在通過在中學使用 LEGO 機器人開發流程，提高學生的運算思維能力，特別針對有學習障礙的學生。研究評估機器人設計和程式設計對這些學生算法思考和心理旋轉能力的影響，並對四名有學習障礙的學生進行 13 周的運算思維培養監測。結果顯示，在實驗後，參與者的演算法問題解決和心理旋轉能力有顯著提升。這表明 LEGO 機器人開發可以支持有學習障礙學生的認知發展。

第三篇為 Jaipal-Jamani & Angeli (2017) 研究探討機器人技術對初級教育師資生的自我效能、科學學習和運算思維的影響。研究評估參與科學方法課程中機器人技術的教學活動對師資生機器人技術的興趣和自我效能、科學概念的理解以及運算思維能力發展的影響。結果顯示，機器人活動有效地提高對機器人技術的興趣，增強使用機器人技術教學的自我效能，提升對科學概念的理解，並促進運算思維能力的發展。這項研究提供量化證據，證明機器人技術在高等教育科學課堂中如何提高師資生的自我效能、科學知識和運算思維能力。

第四篇為 Fanchamps et al. (2021) 研究小學生在程式設計環境中發展運算思維和自我效能。研究關注 SRA (Sense-Reason-Act)² 程式設計循環對學生運算思維的影響，發現在支援式的學習環境中，使用 SRA 程式設計循環可以增強學生的運算思維和自我效能。研究使用問卷調查評估學生的演算法問題解決技能和自我效能，結果顯示運算思維得到改善，但教學變異的影響相對較小。研究還討論程式設計、算法思維和運算思維之間的關係，並強調在小學教育中整合程式設計的重要性。

第五篇為 Dorotea, Piedade, & Pedro (2021) 針對葡萄牙教育領域的案例研究。該研究旨在分析教育機器人在教授電腦科學概念和促進運算思維能力方面對教師的知識、興趣和自我效能感的影響。對葡萄牙公立教育的 174 名在職電腦科學教師進行調查，結果顯示教師對使用教育機器人進行教學活動表現出積極的知識、興趣和高自我效能感水平。這些因素被視為推動教師使用教育機器人的關鍵因素，並呼籲改進教師培訓計劃，以支持設計和實施與機器人相關的教學活動。

第六篇為 Ardito et al. (2020) 研究了中學機器人協作計畫中性別差異對運算思維技能發展的影響。該研究以六年級學生參加為期六週的 LEGO 樂高機器人計畫為對象，該計畫旨在培養運算思維技能。研究發現存在性別差異，男生更注重機器人的操作，而女生更注重群體動態。這些發現對 STEM 教育和學習網絡的研究和實踐具有重要影響。

第七篇為 Diago, González-Calero, & Yáñez (2022) 研究使用教育機器人技術探索小學生心理旋轉和運算能力的發展。該研究強調在早期教育階段，尤其在幼

² SRA 程式設計是使用感測器為主的輸入，可以平行程式設計，結合更多複雜的程式設計概念。SRA 思維指思維的邏輯推理過程，思維是平行的結構，它包括邏輯、因果、條件、反覆和建立因果關係的能力。

兒園和小學早期，結合電腦程式語言和教育機器人技術的重要性。文章介紹 Bee-Bot 等機器人套件，這些工具可以幫助兒童主動構建知識、發展問題解決和高階思維能力。該研究旨在瞭解教育機器人對 8 歲學生運算思維和心理旋轉能力的影響，並將其與傳統教學方法進行比較。文章還提供有關運算思維和空間技能的文獻回顧，並探討教育機器人技術在促進這些能力方面的潛力。

第八篇為 Angeli (2022) 探討在現代工作場所運算思維的重要性，並強調在 K-12 教育中整合運算思維的必要性。文章指出，教育學院缺乏教授師資生運算思維知識和技能的知識。為了解決這個問題，作者提出在教育技術課程中使用螺旋式程式設計 LEGO WeDo 腳本的方法，以教授小學師資生算法思維。文章介紹運算思維的核心概念，包括抽象化、通用性、分解、算法思維和除錯。此外，文章還討論不同層次上的運算思維能力，強調將運算思維融入教師教育的重要性。

第九篇為 Lee, Francom, & Nuatomue (2022) 是一個有關電腦科學教育和 K-12 學生運算思維的系統性回顧。該研究討論電腦科學知識的重要性，以及全球各地學校中電腦科學教育的現況。文章解釋運算思維的概念，即通過創造性和基於對電腦科學的理解來完成有意義的行為。該研究回顧電腦科學教育的研究報告，以確定它在 K-12 學校的實施情況，以及它對 K-12 學生運算思維的影響。文章還討論實施電腦科學教育時教師和學生所面臨的挑戰，並提供建議給電腦科學教育工作者。

第十篇為 Taylor & Baek (2019) 研究按性別和組別角色進行分組對學生在機器人專題的表現、運算思維能力和學習動機的影響。研究結果表明，當學生參與合作機器人專題時，按角色分組會對他們的機器人表現和運算思維產生顯著影響，但按性別分組對結果則無顯著影響。這項研究有助於我們理解如何建立支持性的合作環境，以促進學生在 STEM 領域的學習和表現。同時，研究也提到女性參與 STEM 教育所面臨的挑戰，並探討分組方式對學生學習動機的影響，以有助於縮小性別差距，鼓勵更多女性參與 STEM 領域。

第二個集群為建構主義，有建構主義(constructionism)與體現學習(embodied learning)兩個關鍵字。這集群有兩篇文章，第一篇為 Valente et al. (2021)，主要描述一個基於建構主義學習原則的具體環境(Embodied-based environment)，針對幼稚園的孩子進行設計。研究人員進行一個實驗，讓 4 至 5 歲的幼稚園孩子與一個名為機器狼的機器人互動。互動的目標是協助機器狼找到奶奶的實驗室，這涉及到孩子們通過協調行動和運用身體與機器人互動。研究目的是了解如何創建這種具體環境，以及孩子們在建構過程中使用的行動和概念。研究基於社交意識設計，通過記錄和分析孩子們的活動。研究發現，孩子們的行動表演序列與傳統建構主義環境不同，他們的動作和移動在完成任務中扮演關鍵角色，形成一種像“舞蹈”的過程。這篇文章強調建構主義具體環境對於幼稚園孩子與數位技術互動的有效性，以及對於理解幼兒在運算思維方面的知識建構的影響。

第二篇為 Kwon et al. (2022) 研究探討小學早期教育中，實踐運算思維的體現學習方式。文章強調國小教育對運算思維教育的日益支持，以及在培養孩子對

電腦科學的積極態度和能力方面，早期接觸運算思維的重要性。作者探討一些為運算思維教育引入的學習工具和策略，例如模組化程式設計和不插電活動的方式，並強調感覺運動經驗在概念知識構建的作用。文中指出，融合肢體動作與機器人程式設計的體現學習有助於學生將運算思維概念基於自身的體驗上進行建立。文章還討論性別差異問題，以及體現學習在減少或消除這些差異的潛在好處。

2. 左上象限 (Q2)：專業的主題或是小眾的主題

Q2 顯示低中心性和高密度的主題。機器人在程式設計教育和運算思維研究中的重要性和相關性相對較低，但高密度表示有一些研究專注於這些主題，通常是專業或小眾的主題。在這個領域，有四個集群。第一個集群為師資生教育 (pre-service teacher education)，包含兩篇文章。第一篇為 Piedade et al. (2020) 探討使用教育機器人教授程式設計基礎和促進運算思維技能對未來資訊科學教師的教學效果。強調這些教學經驗對於培養師資生以及實踐教學方法的重要性。第二篇為同一作者的第二篇研究，Piedade (2021) 的研究探討師資生和在職教師在教授程式設計和運算思維時使用教育機器人對於這個領域的興趣、知識、解決問題的能力和自信心。該研究強調結合教育機器人的綜合學習活動的重要性。

第二個集群為專題導向學習 (project-based learning)，共有兩篇文章。其中第一篇研究為 Chiazzese et al. (2019) 探討教育機器人對國小學童運算思維技能的影響。比較三年級和四年級學童參與機器人實驗室對運算思維技能的影響，研究使用 Bebras 任務衡量運算思維能力，結果顯示程式設計機器人對學童的運算思維技能學習產生正面影響，特別是三年級學童。此外，文章討論在專題導向學習中使用機器人的好處，以及積木模組程式設計的優點，如減輕認知負荷和促進程式設計技能的學習。第二篇為 Pou et al. (2022) 探討 STEM 和 STEAM 學科、機器人技術和電腦科學如何融入教育課程，強調專題導向學習的重要，使用 LEGO® Mindstorms® 和 Scratch™ 等機器人套件和程式設計工具技術平台，加強學生在 21 世紀所需的技能，同時提高動機和學習效果。文章強調建構主義和建構主義理論的應用，以及視覺化程式設計平台在促進程式設計概念方面的有效性。

第三個集群為不插電活動 (unplugged activities)，共有兩篇文章。第一篇文章為 Uzumcu & Bay (2021)，研究未來教師的運算思維技能計劃。他們提出一個計劃，以日常生活和專業活動為基礎，旨在提高未來教師的運算思維能力。不插電活動是指無需電子設備的活動，對培養運算思維至關重要。該計劃包括不插電活動、電腦輔助活動和機器人活動，其中不插電活動佔大多數。這些活動有助於未來教師將知識應用於日常生活和職業中。第二篇文章為 Li et al. (2022) 的後設分析，探討不插電活動和程式設計練習對運算思維教育的效果，分析 29 篇文章，涉及 2764 名參與者。結果顯示，不插電活動和程式設計練習都有效培養運算思維技能，但程式設計練習更優。研究還考慮年級、跨學科課程和實驗持續時間等變數。結果表明，不插電活動適合小學生和長期教學實驗，而程式設計練習適合中學生和短期實驗。因此，建議小學生使用不插電活動，中學生使用程式設計練習。此外，推薦在其他科目中加入運算思維教育，並加強不插電活動的教學時間。

第四個集群創造性思維(creative thinking)，共有兩篇文章。第一篇文章為 Munoz-Repiso & Caballero-Gonzalez (2019) 討論機器人技術在幼兒教育中培養運算思維和程式設計能力的應用。研究雖然未直接提及創造性思維，但強調學習者透過互動、分享和測試在機器人教育中獲得新知識、驗證設計指令和解決問題的能力。這些過程可能有助於培養創造性思維。第二篇為 Hsu & Chen (2022) 之研究，探討學生使用個人語音分類器來控制運算思維棋盤遊戲中的機器人車的參與度。研究比較兩組學生，一組競爭，另一組合作測試程式。研究結果顯示，兩組學生都在 AI 教育中取得進展，並建議將 AI 學習材料融入棋盤遊戲以提高學生參與度和培養創造性思維。這些文章強調運算思維的重要性以及遊戲式學習在促進自主學習、問題解決和深度學習方面的潛力。

3. 左下象限 (Q3)：新興或正要消失的主題

Q3 的分析顯示，有一個主題集群為視覺化程式(visual programming)，但其低中心性和低密度表明與整體文章的重要性和相關性相對較低。這表示機器人在程式設計教育和運算思維研究中可能處於發展較弱的主題之一(Aria et al. 2020)。此部分共有兩篇文章。第一篇文章為 Schez-Sobrinio et al. (2020) 介紹了一款名為 RoboTIC 的嚴肅遊戲，旨在透過遊戲化和擴增實境來促進初學者的程式設計學習。文章強調程式技能在當今世界的重要性，特別是在第四次工業革命的背景下，並討論教授初學者程式設計所面臨的挑戰。雖然文章未直接提到運算思維，但它談到在程式設計教育中融入遊戲化和嚴肅遊戲的好處。第二篇研究為 Panskyi & Rowinska (2021)，簡要介紹一種綜合性數位遊戲的學習方法，用於課外時間教授小學生程式設計，2017 年至 2019 年在波蘭的 329 名小學生中進行。該方法包括三個階段：視覺化程式學習、程式設計和機器人、以及程式設計和電子學。研究發現，這種方法有助於小學生掌握運算思維和程式設計概念。此外，文章討論波蘭實施新核心課程的挑戰，強調教授資訊和數位素養的重要性。最後，作者提出一種綜合的學習路徑，包括學習程式語言、機器人技術和電子學，以促進程式設計教育的系統性和跨學科學習。

4. 右下象限 (Q4)：潛在主題

Q4 顯示高中心性和低密度的主題，突顯了機器人在程式設計教育中的運算思維研究的重要性和相關性。然而，主題集群之間的文章凝聚力較低，顯示該主題有重要性但發展不足，存在潛在的發展機會，通常指的是研究領域的基本概念或橫向概念。在這個區域內，有三個集群，第一個集群為小學教育的議題，其集群關鍵字有小學教育(elementary education)、問題解決(problem-solving)、合作學習(collaborative learning)、性別差異(gender difference)、教學問題(pedagogical issues)、程式設計專業(programming profession)，共有十三篇文章。第一篇文章 Bers et al. (2014) 探討早期兒童教育引入機器人學習課程的效果。介紹 TangibleK Robotics Program，一個基於建構主義課程和適齡程式設計和機器人工具的計畫。該計畫旨在培養運算思維技能，例如問題解決和多層次問題解決。研究結果

表明，幼稚園兒童對機器人學習和程式設計表現出興趣並能夠學習。作者強調將程式設計和機器人學習融入早期兒童教育的潛力，以促進學習和認知成長。

第二篇文章為 Hsu, Chang, & Hung (2018) 討論將運算思維納入教育課程的重要性。運算思維被定義為一種思考過程，用於操作系統，專注於使用電腦解決問題，而不是硬體本身。文章回顧 2006-2017 年的運算思維文獻，包括定義、分類和學習策略。研究指出，運算思維已成為許多國家的重要學科，一些國家實施國家計畫並編寫新教科書。作者建議培訓教師設計有效的運算思維活動，調整教學策略，培養學生高層次思維，並在不同學科中應用運算思維。此外，運算思維可以通過多種學習策略實施，如遊戲化學習、審美體驗和專題導向學習。文章提出未來研究方向，包括將運算思維教學應用於不同學科以及研究適用於運算思維的年齡組和程式語言。

第三篇文章為 Noh & Lee (2020) 主要探討機器人程式設計對國小學生運算思維和創造力的影響。研究設計了以機器人為中心的程式設計課程，針對五年級和六年級學生進行研究，檢驗該課程對運算思維和創造力的改善效果，並研究學生的先備技能和性別對結果的影響。結果確認使用機器人進程式設計對學生的運算思維和創造力有顯著提升。然而，對於一開始成績較高的學生，運算思維改善效果不明顯。此外，女生在創造力方面的改善明顯優於男生，雖然在運算思維方面的差異不大。文章建議設計以機器人為中心的程式設計課程，實施於實際課堂，強調在教學和學習策略中考慮學生的先備技能和性別的重要性。

第四篇文章為 Durak, Yilmaz, & Yilmaz (2019) 針對高中生進行了為期 10 周的研究，評估他們在運算思維、程式設計自我效能和反思性思考方面的能力程度，特別是在機器人活動的程式設計培訓下。研究包括來自一所中學的 55 名六年級和七年級學生。結果顯示，學生在運算思維技能、程式設計自我效能和反思性問題解決方面達到中等程度，且隨著年級不同存在差異。此外，運算思維、程式設計自我效能和反思性思考之間存在著正向且中等程度的關係。該研究填補關於機器人活動程式設計培訓對運算思維、程式設計自我效能和反思性思考的研究空白。文章提供一個概念架構，解釋這些變數之間的關係。總之，文章強調程式設計培訓的重要性，以培養學生的創造力、批判性思維、問題解決能力和合作能力，這在 21 世紀被視為不可或缺的技能。

第五篇文章為 Shim, Kwon, & Lee (2016) 之研究，討論機器人遊戲環境對小學生電腦程式設計教育的影響。文章指出，電腦程式設計已經從過去僅僅是電腦科學家的任務轉變為 21 世紀每個人都必須掌握的技能。研究介紹一個環境，讓小學生能夠透過機器人遊戲輕鬆學習和實踐程式設計，並使用具體的程式設計工具。文章突顯了機器人遊戲環境對學生的程式設計態度和對程式設計概念的理解產生正向影響。研究討論具體的程式設計工具和基於遊戲的學習在程式設計教育中的應用，包括教育機器人和遊戲板。為了評估該環境的有效性，研究開發兩個機器人遊戲，並提供了詳細描述。

第六篇文章為 Evripidou et al. (2020)之研究，旨在透過學生創造和模擬現象的機器人，促進主動參與和引人入勝的學習。文章提供一個參考點，用於研究教育機器人的預期學習成果，並強調最新的教育機器人平台、可行模型的分類方式以及熱門的機器人比賽。文章提出包含六個預期學習成果的模型，以設計促進主動參與和引人入勝的機器人活動。研究指出，機器人學已成為一種創新的教學工具，用於教授 STEAM 概念，因為它激發學生參與有趣、愉快和令人興奮的學習環境。此外，作者認為機器人比賽是有效的團隊學習工具，可以提升溝通、領導、責任和策略制定等技能，促進終身學習。文章探討比賽如何對教育的各個層面產生正面影響，對所有參與者都有益，包括教師和導師。作者得出結論，比賽和合作之間的適當平衡是有效學習機器人的關鍵。

第七篇文章為 Sáez-López, Buceta Otero, & y De Lara García-Cervigón (2021)之研究，這篇研究討論小學教育引入機器人和程式設計的相關性和實施方式。作者強調根據運算概念和教室活動介紹視覺積木程式設計和機器人在小學教育中的重要。為想要在教育中引入程式設計和機器人的教師提供具體的資源和應考慮事項，強調需要根據學生的程度和教育階段來適應這些資源。文章使用準實驗設計，在三所學校中對 107 名五年級學生進行測試，結果顯示學生對基礎運算概念的理解有顯著提高，同時在教學互動、享受、熱情、效率和積極參與方面也有改善。研究強調在教育中整合機器人的好處，對學習和發展問題解決、批判思維和邏輯思維等技能的改進。研究介紹各種工具和機器人，如 M-Bot, Dash, Dot, Ozobot, Blockly 和 Scratch，可以用來培養程式設計技能和運動技能。

第八篇為 Díaz-Lauzurica & Moreno-Salinas (2019) 講述在強制中學教育階段，教授運算思維和機器人技術給對學習缺乏熱情和興趣的學生的實際應用。研究強調，提供優質的包容性教育和科技培養從早期教育階段開始對面臨的社會關係挑戰至關重要，這些挑戰源於新的勞動力市場和科技的快速發展。該研究描述在西班牙強制中學四年級學生中教授運算思維和機器人技術的實際經驗，包括精心選擇的教學技巧和工具，旨在吸引並保持學生的興趣。使用的方法包括專題導向學習、Blockly Games 和 Kahoot 等線上資源、個別監控和遊戲化。結果顯示，這種方法大幅提高學生的動機，凸顯教授運算思維的重要性，能夠吸引對學習失去興趣的學生，激發他們的動力，同時為終身學習提供必要的技能。

第九篇為 Chevalier et al. (2022)探討如何運用反饋和指導做為干預方法，在小學生的教育機器人學習活動中推動運算思維。該研究討論運算思維的三個維度：運算概念、運算實務和運算視角，尤其關注在培養運算實務和運算視角這兩個維度的干預方法。研究提出反饋和指導在鼓勵運算思維能力和解決問題策略方面的有效性，詳細回顧各種指導和反饋形式及其對教育機器人問題導向學習的影響。研究發現，具體而明確的指導和延時的反饋對運算思維能力有正向影響。最後得出結論，指導和反饋對於推動教育機器人課堂的運算思維不可或缺的，教師應根據學生的經驗和能力程度採用不同類型的干預方法。

第十篇為 Silva et al. (2021) 之研究主要探討小學階段透過教育機器人和程式設計活動培養運算思維能力。強調 COVID-19 疫情期間，科技在小學生生活中日益普及，以及發展科技職業所需的技能，同時促進跨領域的技能和成為全方位的公民。文中提出一個理論性建議，即使用 Scratch Jr. 進行教育機器人和程式設計的教學序列。該序列包括三個適用於小學教學的學習場景，旨在創造條件，促進運算思維在合作學習環境的發展。學習場景的任務都圍繞著一個共同的問題：創造一個算法，以程式設計機器人或精靈到達預定位置。運算思維被描述為解決問題和理解人類行為的基本技能，研究提供一個運算思維技能模型。這個教學序列旨在培養運算思維技能，通過開放合作和與技術工具的探索來促進合作學習。

第十一篇為 Fanchamps et al. (2022) 之研究，討論小學生程式設計機器人，使用 SRA 程式設計對運算思維技能的影響。研究強調任務設計和問題選擇對喚起 SRA 思考和發展運算思維技能的重要。作者比較使用樂高 EV-3 機器人和 Mindstorms 的程式設計條件（靜態/動態），研究發現，動態任務設計融入 SRA 思考，讓學生可以立即測試程式結果，對於地理運算思維技能培養是關鍵的。在動態問題環境中進程式設計自然地引發 SRA 思考，並改進對複雜問題的推理能力。文中還討論運算理論架構、解決問題策略，以及使用可程式化機器人做為開發運算思維技能的直接操作環境的好處。

第十二篇為 Sung, Ahn, & Black (2022) 之研究探討小學生機器人程式設計和除錯時使用具體化方法的效果，尤其針對來自社會經濟弱勢和文化多樣背景的學生。作者進行兩個研究，研究一探討使用機器人和程式設計來研究體現教學對問題解決、程式設計能力、自主性和自效能感的影響。結果顯示，體現化的規劃活動對年輕學習者的樂高機器人問題解決和自主性能力有正向影響。研究二將不同類型的體現化活動應用於幼稚園和一年級的學生，同樣都是來自不同背景的學生的除錯問題解決活動。研究結果顯示這些活動促進學生在機器人技術中的問題解決能力和程式設計應用中的除錯策略使用。整體來說，本研究強調 STEM 教育，在促進年輕學習者的問題解決、運算思維和高階思維能力方面的重要性。

第十三篇為 Lee et al. (2021) 介紹一款跨平台的遊戲，旨在透過合作學習促進運算思維的學習。這款遊戲提供一個易於使用的視覺化程式設計環境，讓學習者可以指示虛擬 3D 機器人完成特定任務，涵蓋運算思維的核心要素。遊戲支持合作學習，使多個學習者可以共同找到合適的解決方案，培養他們的溝通和領導技能。文章介紹遊戲的設計，並使用兩個調查證實其成功整合運算思維的核心要素。遊戲跨平台，可以離線遊玩，並融入遊戲化元素，使學習變得有趣和有獎勵性。遊戲設定在廚房中，使用虛擬機器人，能讓有限程式設計經驗的學習者更易理解。最後，文章強調運算思維在教育中的重要性，以及該遊戲作為一個有效的運算思維學習工具的潛力。

第二個集群為 K-12，其中只有 K-12 這個關鍵字，共有三篇文章。第一篇文章為 Witherspoon et al. (2017) 的研究，探討虛擬機器人程式設計課程對中學生運算思維知識和技能的影響。該課程旨在教授學生運算思維的原理，可應用於不同

電腦科學情境。研究使用前後測評估學生在運算思維方面的進步，結果顯示參與課程的學生取得顯著進步。

第二篇為 Yilmaz Ince & Koc (2021) 探討機器人程式設計教育對運算思維技能的影响。他們發現名為「青年工程師工作坊」的干預計劃對提升學生的運算思維能力有正面影响。研究發現，在問題識別和任務分解等方面，機器人教育有正向影响，同時也促進基本技能的發展和對運算思維的正向態度。然而，在創造力、合作和問題解決方面並無顯著變化。結論強調需要更適合的教學方法來全面學習運算思維，並可以在非電腦領域中應用。文章還討論影响程式設計教育的因素，提出促進運算思維的教學策略和工具，如 Scratch 等視覺積木程式設計環境。

第三篇為 Shahin et al. (2022) 旨在研究中學女生對運算思維實務的難度感知，並通過與 micro:bit 的協作程式設計來探討這些感知。文章關注運算思維的現有研究，特別是將其融入學科、K-12 課程以及開發程式設計工具。然而，對於具體運算思維實務的研究仍然有限，特別是從學習者的角度出發。文章強調女性在電腦和 STEM 領域的代表性不足以及阻礙女孩進入這些領域的因素。研究探討中學女生對運算思維實務的難度感知，以及她們之前的程式設計經驗對這些感知的影響，同時討論她們在開發和實施運算思維時所面臨的挑戰和障礙，以及她們在克服這些挑戰時使用的實務和技巧。

第三個集群為幼童，有幼童 (early childhood) 與編碼(coding) 兩個關鍵字，共有七篇文章。第一篇文章為 Relkin, de Ruiter, & Bers (2021) 的研究，討論教導幼童運算思維和程式設計技巧的議題。文章強調運算思維在各種教育學科的重要性，並討論將程式設計融入課程以培養幼童運算思維技能的方法。然而，大多數研究集中在高等教育，因此需要了解學習程式設計對幼童的影響以及如何有效促進他們的運算思維。文章討論教導幼童運算思維的挑戰，提出發展適當架構的方法，以教授 4-9 歲兒童程式設計和運算思維，並強調創意程式設計和自我表達。另外，文章也提到評估幼童的運算思維技能是一個挑戰，並探討不插電運算思維評估的方法，包括拼圖、遊戲和練習。

第二篇文章為 Alden & Tramonti (2020) 介紹結合運算設計思維和教育機器人的架構，旨在培養未來創新所需的技能。作者強調在跨學科領域中有效運作和溝通的重要性，並提供一個適合培養這些技能的架構，特別針對教育機器人和 STEM 教育。文章介紹一項針對 9 至 11 歲兒童的研究，該研究結合運算思維、設計思維和教育機器人的應用。研究使用一個新型平台，該平台結合設計思維和遊戲化學習，通過組裝和程式設計紅外線控制的機器人車來介紹物理計算。學習過程強調發展初級程式設計技能，逐漸轉化為物理領域的應用。結果顯示這種方法能夠保持學生在整個課程的動機和結果導向。總之，文章強調在教育環境中結合運算思維、設計思維和教育機器人的潛力，可以提升創造力、參與度和創新性。

第三篇文章為 Yang, Luo, & Su (2022) 的研究，探討幼童教育機器人程式設計主題，特別關注包容性和可持續性。這項研究在香港的低收入公共住宅區的幼稚園進行，以了解早期教育中實施機器人程式設計的好處、挑戰和結果。研究使

用混合研究方法，包括觀察、兒童評估和教師訪談。結果顯示，在早期教育實施機器人程式設計可以對兒童的運算思維技能產生正向影響，但也存在限制和挑戰，需要系統性改變以促進包容性和可持續性。

第四篇文章為 Gerosa et al. (2022) 的研究，主要探討利用教育機器人促進學齡前兒童運算思維的方法，尤其關注兒童在任務中的參與對運算思維的影響。研究提出一種新穎的教育機器人干預方法，使用一個名為 RoboTito 的可程式機器人，專為幼稚園學童設計。結果顯示，兒童的任務參與對於運算思維的提升具有核心作用。文章強調教育機器人干預對參與的兒童促進運算思維的重要性。

第五篇文章為 Hall & McCormick (2022) 討論運算思維在幼兒教育中的應用。他們使用按鈕操作的機器人進行引導性遊戲，研究如何在學前班中有效實施運算思維教學，並探討幼兒與教育機器人的互動。文章強調建構主義和運算思維整合的重要性，以及設計基於遊戲的體驗對幼兒的必要性。文章呼籲進一步研究，以設計適合幼兒的適應性運算思維體驗，並深入研究運算思維的概念和實踐。

第六篇文章為 Bers (2021) 介紹一種教授幼童程式設計和運算思維的教學方法，名為 Coding as Another Language (CAL)。這種教學課程將電腦科學和語言學習相結合，適合 4-8 歲的孩童。CAL 強調創造性遊戲和自我表達，將程式設計視為一種新的符號語言。此外，CAL 提供社交情感發展的機會，通過合作遊戲化的學習環境促進道德價值觀和正向行為的培養，以加強孩童品格發展。

第七篇研究為 Terroba et al. (2022) 提出一個介入方案，旨在利用具有程式控制能力的地面機器人，在幼兒教育中促進運算思維的發展。研究使用觀察方法，探討 4 到 6 歲幼童的運算思維能力發展。介入方案包括七個難度逐漸增加的問題，旨在發展解決問題、空間組織、抽象思維和歸納能力等技能。研究結果顯示，教育機器人的使用對於幼兒運算思維能力的發展是一個優秀工具，幼兒具有足夠的能力進行基本的機器人操作，有助於他們建立對連續程式設計的基礎理解。此外，教育機器人的使用還促進創造力、運動技能、手眼協調、社交互動和團隊合作。教師在這過程中充當技術工具的中介者角色，支持學生克服困難，找到解決問題的方法。這個研究突顯教育機器人在幼兒教育中應用的潛力，不僅發展運算思維，還促進多方面的技能和互動。

五、機器人程式設計教育及運算思維文章的研究方法與主要發現

(一)、研究方法的議題

在 70 篇研究中，採用實驗法 31 篇、質性或個案研究有 24 篇、文獻回顧或後設分析 4 篇、問卷調查 5 篇，其餘為設計研究法(design-based research)及混合研究(mixed-method research)。實驗法中 31 篇以準實驗法有 24 篇最多，有些研究缺乏控制組來比較，例如 Kert et al. (2022), Kwon et al. (2022), Korkmaz, Çakır, & Özden (2015), Noh & Lee (2020) 和 Chen et al. (2017) 的研究。一些研究有控制組，但缺乏對控制組的詳細資訊描述，因此無法進一步瞭解比較的基礎，例如

Sáez-López et al. (2021)和 Munoz-Repiso & Caballero-Gonzalez (2019)的研究。另外，實驗法的樣本數小，例如 Kert et al. (2022)的研究對象為學習障礙學生且採用單一樣本實驗設計，只有 4 位學生參與研究。實驗時間短，過去研究曾指出機器人程式設計課程經常以短期（例如：6 週）的形式實施，不太可能為學生提供足夠的機會來練習程式 (Witherspoon et al. 2017)。例如 Diago et al. (2022)的實驗時間為 2 小時， Sung et al. (2022)的研究一實驗時間是 4 週。質性或個案研究採用現象學研究設計、紮根理論、訪談、觀察、行動研究等。例如： Paucar-Curasma et al. (2022)觀察 20 位 6-13 歲學生在四種不同的機器人活動觀察和運算思維觀察（序列、循環等），研究結果顯示學生更喜歡具有更多互動、連結性和程式功能的機器人，這類型的機器人對運算思維技能的發展有顯著貢獻。Bers (2021)描述一種教學方法，適用於教授 4-8 歲幼兒程式設計和運算思維。

文獻回顧或後設分析有 4 篇，文獻分析有助於研究者了解此主題研究的脈絡（如文獻計量分析及系統性文獻回顧）及釐清研究變數之間的關係（如後設分析）， Chiu et al. (2022)採用文獻計量分析，以 1996-2020 年間共 56 篇收錄在 WOS 的 SSCI 論文進行分析，總結科學教育機器人的研究分為三個集群：機器人應用於國小自然科學教育、基於機器人的 STEM 活動及機器人促進運算思維的研究。最常探討的主題是「教育機器人的好處」，其次是「教師的專業發展」。「多樣性和擴大參與」及「創造力和動機」的主題較少被討論。在機器人互動的研究主題，最常採用的是樂高，其次是自行開發機器人。研究對象大部份是混合，其次依序是小學生、高中生、教師、國中生、幼稚園和大學生。最常採用的研究方法是量化研究和混合研究，並且集中在探討學生的認知和情感。最常採用的學習策略是專題導向學習，最常使用評估學生的工具包括問卷調查、觀察、訪談和使用工具評估學生的學習品質等。Hsu et al. (2018)採用文獻回顧法，以 2006-2017 年間共 120 篇收錄在 Scopus 的 SSCI/SCI 論文和書籍進行分析，他們的研究總結運算思維的應用主題以程式設計最多，接下來依序為電腦科學、數學、生物學、機器人、科學技術、工程、STEM、電腦應用、物理等。教師使用不同的策略幫助學生學習運算思維，採用最多的是問題導向學習和專題導向學習，其他策略依序為合作學習、遊戲式學習、問題解決系統、鷹架式學習等。教師用於設計運算思維活動採用的程式語言以 Scratch 最多，依序為 Alice, Scratch for second life, Alice 2.4, LEGO, Matlab 等。教師在訓練學生運算思維活動，最常使用的教學工具是程式設計，其次是借助實驗和電腦遊戲完成運算思維活動，同時，機器人、棋盤遊戲、課堂即時反饋系統、影片等也用來訓練學生的運算思維。Lee et al. (2022)採用系統性文獻回顧法，以 2016-2020 年之間在 ERIC (EBSCO), Academic Search Complete (EBSCO), PsycINFO (EBSCO), Psychology and Behavioral Sciences Collection (EBSCO), ScienceDirect, Scopus, JSTOR, IEEE Xplore 等 8 個資料庫為檢索標準，使用關鍵字 computer science, computational thinking, K12，並設定排除準則後最終有 66 篇期刊論文進行系統性回顧。他們的研究指出電腦科學教育中實施最多的干預措施是教育機器人、積木程式和教育遊戲。運算思維量

表和運算思維測驗是使用最多的兩種運算思維測量工具。電腦科學教育促進了 K-12 學生的運算思維發展，提高學生的創造性和批判性思維技能。Li et al. (2022) 採用後設分析法，以 2011-2021 年之間在 WOS, EBSCO, Taylor & Francis, ScienceDirect, Springer 資料庫為檢索標準，並使用關鍵字 programming, coding, unplugged, computational thinking，設定只選取實驗或準實驗研究、有提供量化資料且有衡量學生運算思維的研究，最終 29 篇論文（24 篇準實驗研究及 5 篇實驗研究）進行後設分析。他們的研究主要探討不插電活動和程式設計練習兩種教學方法對運算思維教育的成效。後設分析的結果顯示不插電活動或程式設計練習都有助於培養學生的運算思維，程式設計練習的效果規模大於不插電活動。研究建議小學生應該使用不插電活動，中學生採用程式設計練習；運算思維教育可以透過上述兩種教學法跨領域整合其他學科；若採用不插電活動教學法比起程式設計練習需要更多的教學時間。

(二)、運算思維衡量的議題

運算思維衡量方面，可以分為(1)專家為學生進行評分；(2) Bebras 任務；(3) 學生自我評估；(4) 同時由學生自我評估及導師評分；(5) 同時由研究者和授課教師評分；(6)採用既有量表評分。分述如下：

1. 由兩位專家進行學生的運算思維技能評分，大部份研究使用評分表進行評分，並有報導評分者間信度(inter-rater reliability)，例如：Nam, Kim, & Lee (2019)和 Chen et al. (2017)的研究。但也有研究由專家評分但是缺少報導評分的專家人數及評分者間信度。例如：Pou et al. (2022)和 Munoz-Repiso & Caballero-Gonzalez (2019)的研究。
2. 採用 Bebras 任務(<https://www.bebas.org>)做為運算思維的衡量，為不同的年齡層設計的任務，例如：Hsieh et al. (2022)修改 Bebras 任務並應用於大學生的學習成效評分。Kálózi-Szabó et al. (2022)用於國小學童的運算思維評分，使用 2020 設計的任務，包括 18 個問題，分為簡單、中等、困難三個難度級別。Chiazzese et al. (2019)也是用於國小學童的運算思維評分，選取 Bebras 的 10 個練習來衡量學生的運算思維技能。Hsiao et al. (2022) 參考國際運算思維挑戰賽³ (International Challenge on Informatics and Computational Thinking, 簡稱 Bebras Challenge)並參考 Brennan & Resnick (2012)的運算思維框架發展運算思維測試內容，包括順序結構、迴圈結構、條件結構和變數共 17 題。
3. 由學生針對運算思維技能的構面自我評估，通常採用 5 點尺度(1=從來沒有；5=總是)。例如：Korkmaz et al. (2015)的運算思維量表包括五個因素(創造力、算法思維、合作、批判思考、問題解決)，用來衡量國高中生的運算思維。
4. 同時由學生自我評估及導師評分，例如 Shahin et al. (2022)的研究，學生和導師分別評定運算思維實踐的 12 題項目，例如：能尋找解決方案來修復程式中

³ <http://www.bebas.org/>

已出現的錯誤。透過學生和導師兩群對運算思維的困難度級別評分可以瞭解對運算思維實踐的看法是否有差異。

5. 同時由研究者和授課教師評分，例如：Munoz-Repiso & Caballero-Gonzalez (2019)的研究，他們改編 Bers (2010)提出的 SSS(Syntactic, Semantic, Systems) 評分表，針對學生面臨到的兩個挑戰來評分，每個挑戰的得分是 0~5 分。如果學生在沒有研究人員任何幫助的情況下完全完成了指定的挑戰，得分 5。如果學生幾乎達到了在研究人員提供最少幫助的情況下分配的挑戰，得分為 4。如果得到研究人員的幫助，但並非一步一步地教，得分為 3。當學生在過程中獲得研究人員的逐步幫助，得分 2。若學生嘗試解決挑戰但未完成挑戰，得分為 1。若學生沒有嘗試解決挑戰，得分為 0。故這類研究是針對學習過程來評分。
6. 採用既有量表評分，如 Relkin et al. (2021), Yang, Luo, & Su (2022), Yang, Ng, & Gao (2022)採用 TechCheck 來評估兒童運算思維，由 15 題選擇題組成，涵蓋 6 個運算思維實踐：算法(Algorithms)、模組化(Modularity)、控制結構(Control structures)、表示(Representation)、軟硬體(Hardware/software)和除錯(Debugging)。這是一種不需要程式設計先備知識的衡量工具，因此又被定位為不插電評量，以避免將程式設計技能和運算思維技能混淆。有些研究，如 Diago et al. (2022), Noh & Lee (2020), Taylor & Baek (2019)採用 Román-González, Pérez-González, & Jiménez-Fernández (2017)的運算思維測試(Computational Thinking Test, CTt)，第一個版本在 2014 年 10 月發表，有 40 項，第二個版本經由二十位內容驗證後，最終版本在 2014 年 12 月發表，共 28 項。評量項目涵蓋學生涉及的運算概念(Computational concept addressed)、項目的環境界面(Environment-Interface of the item)、回答選項樣式(Answer alternatives style)、是否存在嵌套(Existence or non-existence of nesting)、所需任務(required task)。有些研究，如 Yilmaz Ince & Koc (2021)，採用 Korkmaz et al. (2017)開發了一個用來計算學生運算思維技能(Computational thinking skills)的量表，包括五個因素：創造力、算法思維、合作性、批判性思維和問題解決，共 29 題的李克特五點尺度量表。

(三)、不同教育系統的議題

不同教育系統的議題，70 篇研究，K-12 研究 47 篇、高等教育 11 篇，其餘 12 篇為文獻回顧或教師或無法分類的研究。關於 K-12 的研究，可以區分為正式或非正式的課堂環境中進行的研究。探討機器人在正式的課堂環境對運算思維的影響，舉例來說，Yang, Ng, & Gao (2022)採用準實驗法，以香港的 101 位學齡前兒童為調查對象，實驗組使用無螢幕機器人程式，控制組使用積木遊戲，研究發現無螢幕機器人程式可以增強學齡前兒童的運算思維能力。若提高學齡前兒童的入學能力，例如排序能力，機器人會比積木遊戲效果更好，尤其是那些自我調節能力較差的兒童，能從機器人干預中排序能力有更大的提高。年齡較大的兒童，

在機器人程式組會比積木遊戲組，在運算思維表現出更大的改善。Gerosa et al. (2022)採用準實驗法，以烏拉圭 51 位學齡前兒童為調查對象，實驗組使用 RoboTito 實體機器人並進程式設計；控制組使用感覺動作控制與機器人互動，並且沒有進程式設計。研究發現在機器人介入的課程中，如果學齡前兒童有高度的任務投入，那麼運算思維技能會顯著的提高。Hall & McCormick (2022)採用質性研究，分析工具包括焦點小組摘錄、影片、學生作品、觀察記錄等，以美國 29 位學齡前兒童為調查對象，研究結果建議透過對話和談判與同伴聯繫和成人的引導互動是學齡前兒童在運算思維體驗中建立知識的基本特徵。Sung et al. (2022)採用準實驗法，執行兩個研究，研究一為美國 37 位小二學生，研究二為美國 51 位小一和學齡前兒童，探討不同程度的體現活動對學生問題解決、除錯、程式設計熟練度、自我決定和自我效能的影響。研究結果建議體現活動可以幫助發展理解抽象的概念，執行腳本的體現活動可以幫助小學生在程式設計過程中遇到錯誤時克服障礙，例如，學生在地板上做一次機器人程式的動作，找到錯誤、修正錯誤並進行測試。Chevalier et al. (2022)採實驗室實驗法，以瑞士 66 位小學生為調查對象，探討在機器人活動中加入立即回饋(Immediate feedback)或延遲回饋(Delayed feedback)對小學生運算思維能力的影響，研究發現如果在沒有教師明確指導的情況下，延遲反饋對運算思維的分析產生正向影響，立即回饋會減少群體溝通，這會使學生採用試錯的問題解決策略。Fanchamps et al. (2022)採準實驗法，以荷蘭 29 位小學生為調查對象，作者認為 SRA 思維會使用到運算思維的特性，如算法、分析、平行思維、模式識別、問題分解等。他們的研究探討對實體機器人進程式設計可以區分為兩種情況：(1)靜態任務環境，指環境沒有變化，機器人要完成的任務是預先定義的，提供給機器人的資訊可以被預先清楚定義。(2)動態任務環境，指環境是不可預測的，問題和空間是不斷變化，無法預先定義。在他們的研究發現，在動態環境中的小組比在靜態環境中的小組使用更多的 SRA 程式設計(sense-reason-act programming)，進而強化 SRA 的思維。Hsiao et al. (2022)採準實驗法，以臺灣 70 位小學生為調查對象，結果證實使用機器人來設計教學活動並結合 6E 模型(Engage, Explore, Explain, Engineer, Enrich, Evaluate)能提高小學生的學習動機、學習成效、運算思維能力和動手做能力。Kert et al. (2022)以一個為期 13 週的單一對象實驗設計，觀察土耳其 4 位 10-14 歲有學習障礙的學生，證實機器人介入程式設計教育後對他們的算法的問題解決技能和心理旋轉技能都有顯著的提升，作者指出機器人實作做為教育技術可以支援學習障礙學生的認知發展。Kwon et al. (2022)採準實驗法，以美國 44 位小學一、二年級學生為實驗對象，要求學生撰寫機器人程式之前先完成體現活動，學生透過具體學習活動，將運算思維概念融入到身體的動作中，例如在他們的研究中，學生被要求解決尋路問題，自己是一隻蜜蜂，按照一步步的指示在墊子上移動，或者做為引導者在墊子外向蜜蜂發出指令，學生只能使用由研究者給的符號或手勢，不可以用語言交談。學生在體現學習中找出從起點到終點的路徑，將空間的資訊轉成代碼，根據代碼執行空間動作。研究結果顯示運算思維課程整合體現活

動，學生的運算思維能力和空間推理能力會有顯著改善。另外，實驗前女生有較低的自我效能，但是實驗後男女生在運算思維態度和運算思維技能沒有顯著差異。

探討機器人在非正式的課外環境對運算思維的影響，例如：Qu & Fok (2022) 關注機器人學習環境中的學生與機器人互動，並嘗試探索如何培養學生的運算思維技能。在為期四週的中國夏令營，32 位學生全程參加夏令營，研究結果顯示在夏令營期間，學生花費較多的時間與機器人互動(Student-robot interaction)，運算思維技能愈高。Neutens et al. (2021)以比利時三場工作坊共 450 分鐘，隨機選取小學生進行分析，比較學生用 Scratch 建立程式，或是學生修正有錯誤的程式開始，比較兩組的運算思維的概念和學習成效，研究結果顯示創造組會比修復程式組能更深入的瞭解程式設計概念及運算思維概念。因為創造組在介紹程式時會採用較溫和的方法，產生較少的負面情緒及更多的參與度。

相較於 K-12 研究，關於高等教育的研究較少，舉例來說，Angeli (2022)採實驗室實驗法，探討賽普勒斯 50 位的小學師資生在運算思維的教學訓練，研究發現使用樂高 WeDo 在機器人程式設計教育，同時對於機器人結構，設計和開發一個鷹架程式設計腳本，教導師資生如何對機器人進程式控制，研究結果鷹架程式設計腳本是適合在機器人程式設計教育，能顯著提升師資生的算法思維和除錯技能。Esteve-Mon et al. (2019)以西班牙一所大學 114 位師資生為研究對象，採用設計本位研究法，在研究提出的機器人介入的教學框架共 7 週，包括師範生使用拼圖、蠟筆和紙卡等材料進行不插電活動，再使用程式和機器人測試的遊戲(例如使用 Arduino 板、Bee-Bots、mBots)，接下來練習用 Scratch，最後對 mBot 進程式設計。研究結果證實 7 週介入後的運算思維技能會提高。Jaipal-Jamani & Angeli (2017)採準實驗法，以美國 21 位小學師資生為研究對象，研究證實機器人介入在課程活動提高對機器人技術的興趣，增強使用機器人教學的自我效能，提升對科學概念的理解，並促進運算思維能力的發展。

(四)、教師專業發展的議題

在 70 篇中有 5 篇的調查對象是教師，Tengler & Sabitzer (2022)認為小學的運算思維訓練已經愈來愈普遍，但缺乏適合的教學方法，教育機器人技術能促進運算思維，因此對教師進行適當的訓練是必要的。他們的研究提出在教學中融入講故事的方法來調查教師在機器人的專業發展，該方法用來實現運算思維以連結創意敘事和寫作過程。Seckel et al. (2022)強調幼兒園一開始就已經納入運算思維課程，因此需對幼兒園教師有適當的培訓，以便能夠教授機器人程式設計。作者找出訓練過程中教師常見的問題，若解決這一系列問題後，機器人概念就形成了。因此建議在培訓開始就能幫助教師發現困難，識別教師經常犯的錯誤，而不是專注在給大量的知識。Dorotea et al. (2021)以葡萄牙 174 位教師為調查對象，教師自我評估機器人教育興趣量表，包括興趣、問題解決、與機器人協同工作、自我效能和知識等 4 個因素。研究結果證實這些因素是促進教師使用教育機器人

進行教學的重要因素。Piedade (2021)以葡萄牙 49 位 22-56 歲準教師及在職教師為調查對象，研究結果顯示教育機器人知識會增加教師自信心。雖然針對教師在機器人程式設計教育與運算思維之影響的相關研究有增加，但這一領域顯然還需要更多的研究。Witherspoon & Schunn (2019)以美國 4 位教師及 206 位中學生為調查對象，研究結果發現當教師將運算思維視為重要的教學目標時，學生在運算思維評估中表現較好，尤其對女生的影響更強。若學生評價教師有高的運算思維，學生表現出更正向的運算思維態度。

六、結論

(一)、機器人程式設計教育與運算思維的研究情況、趨勢與主題

本研究主要探討機器人程式設計教育與運算思維的研究情況和趨勢。研究發現，近年來機器人程式設計教育和運算思維的研究逐漸增加，並且集中在學術期刊 *Computers & Education*, *British Journal of Educational Technology*, *Education and Information Technologies* 等期刊上發表。引用率最高的參考文獻是 Wing (2006)的研究，該研究提出運算思維的概念並討論其潛在影響。本研究通過關鍵字的集群分析和評估研究趨勢來確定主題中的可能缺口，並分析重要的研究詞彙。其中主要研究領域驅動主題有 STEM 與建構主義，小眾議題為師資生教育、專題導向學習與不插電活動，新興議題為視覺化程式設計，潛在議題有小學教育、K-12 與幼童等議題。這些關鍵字反映現存文獻對於在學前及 K-12 學生中培養運算思維的應用和重要性的關注，以及引入機器人和程式設計來促進運算思維學習的趨勢。通過主題分析，可以進一步理解研究範圍涵蓋的主題，並確認研究的重要性和發展性。

(二)、機器人程式設計教育及運算思維文章的研究方法與主要發現

本研究透過系統性文獻分析探討機器人程式設計教育與運算思維相關的研究方法、主要發現以及相關議題。研究方法方面議題，本研究發現相關領域的作者在使用研究方法涵蓋了實驗法、質性研究、文獻回顧和問卷調查等多種方法。然而，有些研究方法存在一些問題，例如缺乏詳細的控制組資訊、樣本數太少和實驗時間過短等，其中實驗時間過短與 Atmatzidou & Demetriadis (2016)的建議是一致的，運算思維能力需要一定時間才能完全發展。

運算思維衡量方面，研究者們使用多種方法來評量學生的運算思維技能，其中包括專家評分、Bebras 任務、學生自我評估、同時由學生自我評估和導師評分、同時由研究者和授課教師評分，以及採用既有量表評分。顯示運算思維的衡量可以從多個角度進行，這些方法可以幫助未來研究獲取關於學生運算思維技能的評估資訊。另外，相關領域文獻也提到不同教育系統和教師專業發展的相關議題，針對不同教育系統和教師專業發展的相關議題，有相關的研究可以提供一些指引。在不同教育系統下的教學研究幫助我們了解機器人程式設計教育和運算思維

教學在不同年齡階段學生中的具體作法和成效，而對於教師專業發展的研究則提供相關教師培訓和瞭解有哪些因素是促進教師使用教育機器人進程式設計教學。然而，這些研究數量較少，需要更多的研究去深入探討這些議題以進一步瞭解如何促使教師願意使用教育機器人進程式設計教學，並可瞭解不同教育系統下的教師的影響因素是否有差異。

(三)、對機器人程式設計教育培養運算思維的啟示

本研究確認機器人介入對程式設計教育的運算思維影響，此領域研究顯示機器人介入和程式設計可以促進學生運算思維技能的發展。機器人程式設計教育提供一個實踐程式設計技巧和運算思維的機會，學生能夠在實際應用中學習運算思維。研究啟示有四點：第一、機器人程式設計教育可以在幼兒教育和 K-12 教育中扮演重要角色，尤其強調在學齡前至小學階段培養運算思維的重要性。因此，將機器人程式設計教育納入小學和幼兒教育，可以促進學生早期的運算思維技能的發展。第二、在機器人程式設計教育研究中，此領域研究運用多種研究方法，包括實驗法、質性研究、文獻回顧、問卷調查等。這些研究方法提供多方面角度來探討機器人程式設計教育對運算思維的影響，可以幫助我們更全面地了解機器人程式設計教育的作法、效果及改進方向。第三、此領域研究使用多種方法來衡量學生的運算思維技能，包括專家評分、Bebras 任務、學生自我評估等。這些衡量方法涵蓋主觀及客觀方法，供未來研究能夠依照研究對象、研究場景選擇適合評估運算思維技能的作法。第四、根據文獻，對教師進行適當的訓練是必要的，以便教師能夠教授機器人程式設計，例如，對小學教師進行適當的機器人程式設計教育培訓，可以提高他們在算法思維和錯誤排除方面的能力 (Angeli 2022)。

(四)、研究貢獻與未來研究方向

根據相關文獻內容，本研究對機器人程式設計教育對運算思維的影響進行了研究，並提出了以下研究貢獻和未來研究方向：

本研究揭示了機器人程式設計教育對運算思維的影響。透過文獻分析發現，機器人程式設計教育對學生的運算思維技能發展有正向的影響，同時培養出解決問題的能力、錯誤排除能力以及邏輯思維等能力。透過主題分析的發現，機器人程式設計教育領域的驅動主題有 STEM 與建構主義，小眾議題為師資生教育、專題導向學習與不插電活動，新興議題為視覺化程式設計，潛在議題有小學教育、K-12 與幼童等議題。這些主題在推動機器人程式設計教育研究和實踐方面發揮重要作用，可以做為後續研究者的研究地圖。

基於文獻分析結果，本研究提出未來研究方向有五點。第一，探索機器人活動對學習障礙者的運算思維技能發展。目前關於機器人活動對學習障礙者的教學效果的研究較少 (Kert et al. 2022)，因此可以進一步探索機器人活動在學習障礙者運算思維的發展。第二，研究不插電的程式設計活動對公平性的影響 (Merino-Armero et al. 2022)。不插電的程式設計活動可以降低成本，靈活性高，

且可提供給不同背景的學生使用，因此未來研究可對不插電的程式設計活動在運算思維教育中公平性的影響進行研究。第三，探討教師在機器人程式設計教育中的角色。目前相關研究主要集中在學生身上，但現今運算思維、程式設計和機器人的整合主題愈來愈多，乃新興的教育趨勢，讓教師和教育工作者做好實施這種整合的準備是迫在眉睫的 (Esteve-Mon et al. 2019; Quintas-Mendas, de Souza, & Amente 2022)。相較於學生，教師的相關研究仍然較少，未來研究可以朝向這研究主題。第四，性別差異仍是機器人程式設計教育和運算思維研究中的一個重要議題。目前性別差異的結果莫衷一是，例如：國小男女生在運算思維態度 (Kwon et al. 2022)和運算思維技能 (Noh & Lee 2020; Wu & Su 2021)沒有顯著差異。國中男女生在運算思維技能沒有顯著差異 (Durak et al. 2019)，然而，研究指出中學女生在研究運算思維解決方案時容易顯現的人格特質是缺乏信心、沒有集中注意力、害怕、缺乏自我激勵、不主動和完美主義，對中學女生來說最難的運算思維實踐是除錯、抽象化次之，最簡單的是合作 (Seckel et al. 2022)。因此，我們建議未來研究可以細緻化運算思維的不同階段，並考慮程式設計的先備知識來探討男女生的運算思維技能的差異。第五，研究發現在機器人程式設計教育和運算思維領域，視覺化程式設計是一個新興話題，並且在未來的研究中可以加以探索和加強討論。相關研究指出，使用視覺化的程式設計環境，如 Scratch, Code.org, Kodu, Blockly, CodeMonkey 等，可以對學生在算法設計方面的表現出正向影響，因為視覺化的程式設計介面可以提供直觀的操作結果，特別適合小學生這樣的初學者。Sung et al. (2022)指出寫程式是一個反覆的過程，在除錯過程中，學生要從目標和結果之間的差異來發現錯誤、查明錯誤、糾正錯誤並測試修改後的結果。這對小學生且是新手學習者可能會有挑戰性，使用視覺化的程式介面提供拖拉方式，不管是虛擬機器人或實體機器人，透過拖拉積木的方式，學生可以具體看到操作結果，這對於小學生來說是一種適當的策略。這一發現可能促使未來研究在機器人程式設計教育和運算思維領域探索更多關於視覺化程式設計的內容和方法。同時，未來研究也可以深入探討如何整合視覺化程式設計和機器人以提升學生運算思維，並提供教師和教育工作者進行這種整合的準備。

綜上所述，探究機器人程式設計教育對運算思維的影響是本研究的主要貢獻之一。未來的研究方向包括探索機器人活動對學習障礙者的運算思維技能的影響效果、研究不插電的程式設計活動對運算思維教育公平性的影響、探討教師在機器人程式設計教育中的角色、性別差異對於學生的運算思維技能的影響，以及如何整合視覺化程式設計和機器人以提升學生運算思維等議題。這些未來研究議題將進一步推動機器人程式設計教育領域的發展和實踐。

致謝

本研究感謝國科會經費補助(NSTC 112-2410-H-025-024-MY2)，同時，也感謝審查委員給予本研究的寶貴意見，特此敬致謝忱。

參考文獻

- Ahn, M., Zhu, H., Hartikainen, K., Ponte, H., Gupta, A., Levine, S., & Kumar, V. (2020). *ROBEL: Robotics benchmarks for learning with low-cost robots*. Paper presented at the Conference on Robot Learning (CoRL 2019), Osaka, Japan.
- Alden, D. & Tramonti, M. (2020). Computational design thinking and physical computing: Preliminary observations of a pilot study. *Robotics*, 9(3), 71.
- Anderson, N. D. (2016). A call for computational thinking in undergraduate psychology. *Psychology Learning & Teaching*, 15(3), 226-234.
- Angeli, C. (2022). The effects of scaffolded programming scripts on pre-service teachers' computational thinking: Developing algorithmic thinking through programming robots. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 31, 100329.
- Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J., & Zagami, J. (2016). A K-6 computational thinking. Curriculum framework: Implications for teacher knowledge. *Educational Technology & Society*, 19(3), 47-57.
- Ardito, G., Czerkawski, B., & Scollins, L. (2020). Learning computational thinking together: Effects of gender differences in collaborative middle school robotics program. *TechTrends*, 64(3), 373-387.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.
- Aria, M., Misuraca, M., & Spano, M. (2020). Mapping the evolution of social research and data science on 30years of social indicators research. *Social Indicators Research*, 149(3), 803-831.
- Atmatzidou, S. & Demetriadis, S. (2016). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661-670.
- Bascou, N. A. & Menekse, M. (2016). *Robotics in K-12 formal and informal learning environments: A review of literature*. Paper presented at the 2016 ASEE Annual Conference & Exposition, New Orleans, Louisiana.
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988.
- Bers, M. U. (2010). The TangibleK robotics program: Applied computational thinking for young children. *Early Childhood Research & Practice*, 12(2), 1-20.
- Bers, M. U. (2021). Coding, robotics and socio-emotional learning: Developing a palette of virtues. *Pixel-Bit- Revista De Medios Y Educacion*, 62, 309-322.

- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157.
- Brennan, K. & Resnick, M. (2012). *New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking*. Paper presented at the Proceedings of the 2012 annual meeting of the American educational research association, Vancouver, Canada.
- Buitrago Flórez, F., Casallas, R., Hernández, M., Reyes, A., Restrepo, S., & Danies, G. (2017). Changing a generation's way of thinking: Teaching computational thinking through programming. *Review of Educational Research*, 87(4), 834-860.
- Chang, C. W., Lee, J. H., Chao, P. Y., Wang, C. Y., & Chen, G. D. (2010). Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school. *Educational Technology & Society*, 13(2), 13-24.
- Chen, G. H., Shen, J., Barth-Cohen, L., Jiang, S. Y., Huang, X. T., & Eltoukhy, M. (2017). Assessing elementary students' computational thinking in everyday reasoning and robotics programming. *Computers & Education*, 109, 162-175.
- Chevalier, M., Giang, C., El-Hamamsy, L., Bonnet, E., Papaspyros, V., Pellet, J. P., & Mondada, F. (2022). The role of feedback and guidance as intervention methods to foster computational thinking in educational robotics learning activities for primary school. *Computers & Education*, 180, 104431.
- Chevalier, M., Giang, C., Piatti, A., & Mondada, F. (2020). Fostering computational thinking through educational robotics: a model for creative computational problem solving. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1-18.
- Chiazzese, G., Arrigo, M., Chifari, A., Lonati, V., & Tosto, C. (2019). Educational robotics in primary school: Measuring the development of computational thinking skills with the Bebras tasks. *Informatics*, 6(4), 43.
- Chiu, M. C., Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2022). Roles, applications, and research designs of robots in science education: a systematic review and bibliometric analysis of journal publications from 1996 to 2020. *Interactive Learning Environments*, 26.
- Diago, P. D., González-Calero, J. A., & Yáñez, D. F. (2022). Exploring the development of mental rotation and computational skills in elementary students through educational robotics. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 32, 100388.

- Dorotea, N., Piedade, J., & Pedro, A. (2021). Mapping K-12 computer science teacher's interest, self-confidence, and knowledge about the use of educational robotics to teach. *Education Sciences*, 11(8), 1-15.
- Durak, H. Y., Yilmaz, F. G. K., & Yilmaz, R. (2019). Computational thinking, programming self-efficacy, problem solving and experiences in the programming process conducted with robotic activities. *Contemporary Educational Technology*, 10(2), 173-197.
- Díaz-Lauzurica, B. & Moreno-Salinas, D. (2019). Computational thinking and robotics: A teaching experience in compulsory secondary education with students with high degree of apathy and demotivation. *Sustainability*, 11(18), 5109.
- Elango, B. & Rajendran, P. (2012). Authorship trends and collaboration pattern in the marine sciences literature: A scientometric study. *International Journal of Information Dissemination and Technology*, 2(3), 166-169.
- Esteve-Mon, F. M., Adell-Segura, J., Nebot, M. A. L., Novella, G. V., & Aparicio, J. P. (2019). The development of computational thinking in student teachers through an intervention with educational robotics. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 18, 139-152.
- Evripidou, S., Georgiou, K., Doitsidis, L., Amanatiadis, A. A., Zinonos, Z., & Chatzichristofis, S. A. (2020). Educational robotics: Platforms, competitions and expected learning outcomes. *IEEE Access*, 8, 219534-219562.
- Fülöp, M. T., Udvaros, J., Gubán, Á., & Sándor, Á. (2022). Development of computational thinking using microcontrollers integrated into OOP (Object-Oriented Programming). *Sustainability*, 14(12), 7218.
- Fanchamps, N., Slangen, L., Hennissen, P., & Specht, M. (2021). The influence of SRA programming on algorithmic thinking and self-efficacy using Lego robotics in two types of instruction. *International Journal of Technology and Design Education*, 31(2), 203-222.
- Fanchamps, N., Slangen, L., Specht, M., & Hennissen, P. (2022). The effect on computational thinking using SRA-programming: Anticipating changes in a dynamic problem environment. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(2), 213-222.
- Funk, M., Cascalho, J., Santos, A. I., Pedro, F., Medeiros, P., Amaral, B., & Mendes, A. (2022). A simple interactive robot to promote computational thinking. *Frontiers in Computer Science*, 4, 1-13.
- Gerosa, A., Koleszar, V., Tejera, G., Gomez-Sena, L., & Carboni, A. (2022). Educational robotics intervention to foster computational thinking in

- preschoolers: Effects of children's task engagement. *Frontiers in Psychology*, 13, 1-13.
- Grover, S. & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43.
- Hall, J. A. & McCormick, K. I. (2022). "My cars don't drive themselves": Preschoolers' guided play experiences with button-operated robots. *TechTrends*, 66(3), 510-526.
- Hsiao, H. S., Lin, Y. W., Lin, K. Y., Lin, C. Y., Chen, J. H., & Chen, J. C. (2022). Using robot-based practices to develop an activity that incorporated the 6E model to improve elementary school students' learning performances. *Interactive Learning Environments*, 30(1), 85-99.
- Hsieh, M. C., Pan, H. C., Hsieh, S. W., Hsu, M. J., & Chou, S. W. (2022). Teaching the concept of computational thinking: A STEM-based program with tangible robots on project-based learning courses. *Frontiers in Psychology*, 12, 1-7.
- Hsu, T. C., Chang, S. C., & Hung, Y. T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education*, 126, 296-310.
- Hsu, T. C. & Chen, M. S. (2022). The engagement of students when learning to use a personal audio classifier to control robot cars in a computational thinking board game. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 17(27), 1-17.
- Jaipal-Jamani, K. & Angeli, C. (2017). Effect of robotics on elementary preservice teachers' self-efficacy, science learning, and computational thinking. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 175-192.
- Kelleher, C. & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. *ACM Computing Surveys*, 37(2), 83-137.
- Kert, S. B., Erkoç, M. F., & Yeni, S. (2020). The effect of robotics on six graders' academic achievement, computational thinking skills and conceptual knowledge levels. *Thinking Skills and Creativity*, 38, 100714.
- Kert, S. B., Yeni, S., & Erkoc, M. F. (2022). Enhancing computational thinking skills of students with disabilities. *Instructional Science*, 50(4), 625-651.
- Kálózi-Szabó, C., Mohai, K., & Cottini, M. (2022). Employing robotics in education to enhance cognitive development-A pilot study. *Sustainability*, 14(23), 1-12.
- Korkmaz, Ö., Çakır, R., & Özden, M. (2015). Computational thinking levels scale (CTLS) adaptation for secondary school level. *Gazi Journal of Educational Science*, 1(2), 143-162.

- Korkmaz, Ö., Çakır, R., & Özden, M. (2017). A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS). *Computers in Human Behavior*, 72, 558-569.
- Kwon, K., Jeon, M., Zhou, C., Kim, K., & Brush, T. A. (2022). Embodied learning for computational thinking in early primary education. *Journal of Research on Technology in Education*, 21.
- Lai, X. Y. & Wong, G. K. W. (2022). Collaborative versus individual problem solving in computational thinking through programming: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 53(1), 150-170.
- Lee, L. K., Cheung, T. K., Ho, L. T., Yiu, W. H., & Wu, N. L. (2021). A cross-platform game for learning computational thinking with the support of collaborative learning. *International Journal of Innovation and Learning*, 30(3), 334-357.
- Lee, S. J., Francom, G. M., & Nuatomue, J. (2022). Computer science education and K-12 students' computational thinking: A systematic review. *International Journal of Educational Research*, 114, 102008.
- Li, F., Wang, X., He, X. N., Cheng, L., & Wang, Y. Y. (2022). The effectiveness of unplugged activities and programming exercises in computational thinking education: A Meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 27(6), 7993-8013.
- Lu, J. J. & Fletcher, G. H. L. (2009). Thinking about Computational Thinking. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(1), 260-264.
- Lye, S. Y. & Koh, J. H. L. (2014). Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12? *Computers in Human Behavior*, 41, 51-61.
- Merino-Armero, J. M., Gonzalez-Calero, J. A., Cozar-Gutierrez, R., & del Olmo-Munoz, J. (2022). Unplugged activities in cross-curricular teaching: Effect on sixth graders' computational thinking and learning outcomes. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(2), 1-11.
- Munoz-Repiso, A. G. V. & Caballero-Gonzalez, Y. A. (2019). Robotics to develop computational thinking in early Childhood Education. *Comunicar*, 27(59), 63-72.
- Nam, K. W., Kim, H. J., & Lee, S. (2019). Connecting plans to action: The effects of a card-coded robotics curriculum and activities on Korean kindergartners. *Asia-Pacific Education Researcher*, 28(5), 387-397.
- Neutens, T., Barbion, E., Coolsaet, K., & Wyffels, F. (2021). Comparing learning ecologies of primary graphical programming: Create or fix? *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(5), 1296-1311.

- Noh, J. & Lee, J. (2020). Effects of robotics programming on the computational thinking and creativity of elementary school students. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 463-484.
- Ou Yang, F. C., Lai, H. M., & Wang, Y. W. (2023). Effect of augmented reality-based virtual educational robotics on programming students' enjoyment of learning, computational thinking skills, and academic achievement. *Computers & Education*, 195, 104721.
- Paliokas, I., Arapidis, C., & Mpimpitsos, M. (2011). *PlayLOGO 3D: A 3D interactive video game for early programming education*. Paper presented at the The third international conference on games and virtual worlds for serious applications, Athens, Greece.
- Panskyi, T. & Rowinska, Z. (2021). A holistic digital game-based learning approach to out-of-school primary programming education. *Informatics in Education*, 20(2), 255-276.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers and powerful ideas*. United Kingdom: Harvester Press.
- Paucar-Curasma, R., Villalba-Condori, K., Arias-Chavez, D., Le, N. T., Garcia-Tejada, G., & Frango-Silveira, I. (2022). Evaluation of computational thinking using four educational robots with primary school students in Peru. *Education in the Knowledge Society*, 1-23, 10.
- Piedade, J., Dorotea, N., Pedro, A., & Matos, J. F. (2020). On teaching programming fundamentals and computational thinking with educational robotics: A didactic experience with pre-service teachers. *Education Sciences*, 10(9), 214.
- Piedade, J. M. N. (2021). Pre-service and in-service teachers' interest, knowledge, and self-confidence in using educational robotics in learning activities. *Educacao & Formacao*, 6(1), 24.
- Pou, A. V., Canaletta, X., & Fonseca, D. (2022). Computational thinking and educational robotics integrated into project-based learning. *Sensors*, 22(10), 3746.
- Pozzi, M., Prattichizzo, D., & Malvezzi, M. (2021). Accessible educational resources for teaching and learning robotics. *Robotics*, 10(1), 38.
- Qu, J. R. & Fok, P. K. (2022). Cultivating students' computational thinking through student-robot interactions in robotics education. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(4), 1983-2002.
- Quintas-Mendas, A., de Souza, E. B., & Amente, L. (2022). Learning design of a programming and robotics MOOC for childhood teachers and educators. *Prisma Social*, (39), 234-261.

- Relkin, E., de Ruiter, L. E., & Bers, M. U. (2021). Learning to code and the acquisition of computational thinking by young children. *Computers & Education*, 169, 10422.
- Román-González, M., Pérez-González, J.-C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior*, 72, 678-691.
- Schez-Sobrino, S., Vallejo, D., Glez-Morcillo, C., Redondo, M. Á., & Castro-Schez, J. J. (2020). RoboTIC: A serious game based on augmented reality for learning programming. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 34079-34099.
- Seckel, M. J., Vasquez, C., Samuel, M., & Breda, A. (2022). Errors of programming and ownership of the robot concept made by trainee kindergarten teachers during an induction training. *Education and Information Technologies*, 27(3), 2955-2975.
- Selby, C. C. & Woollard, J. (2013). Computational Thinking: The Developing Definition.
https://eprints.soton.ac.uk/356481/356481/Selby_Woollard_bg_soton_eprints.pdf.
- Sen, C., Ay, Z. S., & Kiray, S. A. (2021). Computational thinking skills of gifted and talented students in integrated STEM activities based on the engineering design process: The case of robotics and 3D robot modeling. *Thinking Skills and Creativity*, 42, 100931.
- Shahin, M., Gonsalvez, C., Whittle, J., Chen, C. Y., Li, L., & Xia, X. (2022). How secondary school girls perceive Computational Thinking practices through collaborative programming with the micro:bit. *Journal of Systems and Software*, 183, 111107.
- Shepard, R. N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.
- Shim, J., Kwon, D., & Lee, W. (2016). The effects of a robot game environment on computer programming education for elementary school students. *IEEE Transactions on Education*, 60(2), 164-172.
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142-158.
- Silva, R., Fonseca, B., Costa, C., & Martins, F. (2021). Fostering computational thinking skills: A didactic proposal for elementary school grades. *Education Sciences*, 11(9), 518.
- Sáez-López, J. M., Buceta Otero, R., & y De Lara García-Cervigón, S. (2021). Introducing robotics and block programming in elementary education. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 95-113.

- Sun, L., Hu, L., & Zhou, D. (2021a). Improving 7th-graders' computational thinking skills through unplugged programming activities: A study on the influence of multiple factors. *Thinking Skills and Creativity*, 42, 100926.
- Sun, L., Hu, L., & Zhou, D. (2021b). Which way of design programming activities is more effective to promote K-12 students' computational thinking skills? A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(4), 1048-1062.
- Sung, W., Ahn, J., & Black, J. B. (2022). Elementary Students' Performance and Perceptions of Robot Coding and Debugging: Embodied Approach in Practice. *Journal of Research in Childhood Education*, 36(4), 681-696.
- Taylor, K. & Baek, Y. (2019). Grouping matters in computational robotic activities. *Computers in Human Behavior*, 93, 99-105.
- Tengler, K. & Sabitzer, B. (2022). Examining teachers' intention to integrate robotics-based storytelling activities in primary schools. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(6), 221-240.
- Terroba, M., Ribera, J. M., Lapresa, D., & Anguera, M. T. (2022). Observational analysis of the development of computational thinking in Early Childhood Education (5 years old) through an intervention proposal with a ground robot of programmed directionality. *European Early Childhood Education Research Journal*, 30(3), 437-455.
- Uzumcu, O. & Bay, E. (2021). The effect of computational thinking skill program design developed according to interest driven creator theory on prospective teachers. *Education and Information Technologies*, 26(1), 565-583.
- Valente, J. A., Caceffo, R., Bonacin, R., dos Reis, J. C., Goncalves, D. A., & Baranauskas, M. C. C. (2021). Embodied-based environment for kindergarten children: Revisiting constructionist ideas. *British Journal of Educational Technology*, 52(3), 986-1003.
- Wei, X., Lin, L., Meng, N., Tan, W., Kong, S. C., & Kinshuk. (2021). The effectiveness of partial pair programming on elementary school students' Computational Thinking skills and self-efficacy. *Computers & Education*, 160, 104023.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881), 3717-3725.
- Witherspoon, E. B., Higashi, R. M., Schunn, C. D., Baehr, E. C., & Shoop, R. (2017). Developing computational thinking through a virtual robotics programming curriculum. *ACM Transactions on Computing Education*, 18(1), 1-20.

- Witherspoon, E. B. & Schunn, C. D. (2019). Teachers' goals predict computational thinking gains in robotics. *Information and Learning Sciences*, 120(5-6), 308-326.
- Wu, S. Y. & Su, Y. S. (2021). Visual programming environments and computational thinking performance of fifth- and sixth-grade students. *Journal of Educational Computing Research*, 59(6), 1075-1092.
- Yang, W. P., Luo, H. R., & Su, J. H. (2022). Towards inclusiveness and sustainability of robot programming in early childhood: Child engagement, learning outcomes and teacher perception. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1486-1510.
- Yang, W. P., Ng, D. T. K., & Gao, H. Y. (2022). Robot programming versus block play in early childhood education: Effects on computational thinking, sequencing ability, and self-regulation. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1817-1841.
- Yilmaz Ince, E. & Koc, M. (2021). The consequences of robotics programming education on computational thinking skills: An intervention of the Young Engineer's Workshop (YEW). *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 191-208.