

已接受稿件

擴增實境技術在教育領域的現況、機會與挑戰

吳新凱、李文宇、張新一、梁傑衝



ISSN : S0360-1315(12)00252-7

DOI : [10.1016/j.compedu.2012.10.024](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024)

參考 : CAE 2255

刊登於：《電腦與教育》

收到日期 :2012年1月27日

修訂日期 :2012年10月22日

收稿日期 :2012年10月26日

Wu, H.-K., Lee, SW-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status , opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. doi: 10.1016/j.compedu.2012.10.024 .

這是一份未經編輯的已接受發表的稿件的PDF文件。為了方便讀者，我們提供此早期版本。稿件在最終發表前將經過編輯、排版和校對。請注意，在製作過程中可能會發現影響內容的錯誤，所有適用於該期刊的法律免責聲明均適用。

擴增實境技術在教育領域的現況、機會與挑戰

吳新凱

^a, 李文宇

^b, 張信義

^c, 梁繼衝

^d

a 國立台灣師範大學科學教育研究所，PO Box 97-27，台北 11699，台灣 (hkwu@ntnu.edu.tw) b 國立彰化教育大學科學教育研究所，台灣彰化 500 號進德路 1 號
(silviawyl@cc.ncue.edu.tw) c 國立教育研究所教育研究所 1 號 (silviawyl@cc.ncue.edu.tw) c 國科教育研究所
2646262626246 號文巢區。 (hsinyichang@nknuc.nknu.edu.tw)台灣科技大學
應用科學與技術研究所，基隆路四段 43 號，台北 106，台灣 (aljc@mail.ntust.edu.tw)

通訊作者：吳信凱 地址：台灣台北市郵政信箱97-27號，郵編11699 電話：+886-2-29347464；傳真：+886-2-29356134；電子郵件：hkwu@ntnu.edu.tw

致謝：本研究基於台灣國家科學委員會（NSC 100-2511-S-003-041-MY3）和台灣師範大學「邁向頂尖大學計畫」的資助。我們衷心感謝蔡錦忠博士對本文的幫助與寶貴意見。

擴增實境技術在教育領域的現況、機會與挑戰

精彩片段

我們認為，將 AR 視為一種概念而不是一種技術會更有成效。

我們識別 AR 系統和應用程式的特點和功能。

本文探討了AR系統所採用的教學方法。

AR在提供新的學習機會的同時，也帶來了新的挑戰。

我們為挑戰提供解決方案，並為未來的研究方向提出建議。

和
公認

擴增實境技術在教育領域的現況、機會與挑戰

抽象的

儘管擴增實境（AR）近年來獲得了廣泛的研究關注，但不同研究者對AR一詞的理解卻不盡相同。本文首先概述了AR的定義、分類和技術。我們認為，將AR視為一種概念而非一種技術類型，對教育者、研究者和設計者而言更有意義。隨後，我們闡述了AR系統和應用的一些特徵和優勢。然而，這些引人注目的特徵並非AR應用所獨有，在其他技術系統或學習環境（例如，普適計算和行動學習環境）中也能找到。AR系統所採用的教學方法以及技術設計、教學方法和學習經驗之間的契合度可能更為重要。因此，我們將教學方法分為三類，分別強調“角色”、“任務”和“地點”，並探討不同類型的AR方法如何幫助學生學習。AR在提供新的學習機會的同時，也為教育者帶來了新的挑戰。本文概述了在教育領域應用AR所涉及的技術、教學和學習問題。例如，在擴增實境（AR）環境中，學生可能會因接觸大量資訊、需要使用多種技術設備以及必須完成的複雜任務而出現認知超負荷。本文針對部分挑戰提出了可能的解決方案，並建議了未來研究的主題和方向。

關鍵字：虛擬現實，教育科技系統架構

公認

擴增實境技術在教育領域的現況、機會與挑戰

1. 引言

擴增實境（AR）連結虛擬世界和現實世界，創造了一個增強和擴展的現實（Bronack, 2011; Klopfer & Squire, 2008）。AR為教與學帶來的新機會日益受到教育研究者的認可。虛擬物體與真實環境的共存，使學習者能夠可視化複雜的空間關係和抽象概念（Arvanitis等, 2007），體驗現實世界中不可能出現的現象（Klopfer & Squire, 2008），與混合現實中的二維和三維合成物體進行互動（Kerawalla、Luckin、Seljeflot & Woolard, 2006），並培養其他在其他科技增強學習環境中無法發展和實踐的重要技能和素養（Squire & Jan, 2007年；Squire & Klopfer, 2007）。這些教育優勢使得AR成為未來五年教育領域的關鍵新興技術之一（Johnson、Levine、Smith和Haywood, 2010a、2010b；Martin等人, 2011）。

儘管擴增實境（AR）近年來獲得了廣泛的研究關注，但研究人員對AR一詞的理解卻不盡相同。此外，AR可以透過利用和連接各種創新技術（例如行動裝置、穿戴式電腦和沈浸式技術）來創建。然而，與許多創新一樣，AR的教育價值並非僅僅取決於技術的使用，而是與AR的設計、實施以及如何將其融入正規和非正規的學習環境密切相關。因此，為了深入了解AR所帶來的機遇，本文旨在闡述AR在教育領域的現況、機會與挑戰。

為了實現本文的目的，我們檢索了探討如何設計擴增實境（AR）、術用於教育以及如何將其融入教育環境的實證研究和理論論文。文獻檢索範圍包括2000年1月至2012年10月發表於《教育資訊與資訊》（Educazione e Informazione）會議科別引文索引（SSCI）期刊資料庫中的文章和書籍章節。

我們選擇的關鍵字包括：擴增實境、混合實境和教育，並獲得了超過70篇引用文獻。我們也檢索了IEEE資料庫中的會議論文，特別是發表在國際混合與擴增實境研討會（ISMAR）上的論文，以查找相關文獻。檢索完成後，我們只篩選出那些專注於擴增實境的論文。

以及相關的教育問題。最後我們得到了54篇參考文獻。然後我們閱讀了這些文獻。

閱讀文章和章節，討論主要發現，提出引導深入閱讀的問題，並記錄論文中如何回答這些問題。引導問題包括：論文如何定義擴增實境？擴增實境有哪些功能？

本文探討了擴增實境 (AR) 在教育領域的應用前景。文中是否闡述了 AR 設計所依據的架構、理論或原則？AR 是如何融入學習或教學的（例如，相關的學習或教學活動有哪些）？AR 能夠促進哪些學習成果？我們的筆記中初步提煉了幾個主題。經過又一輪的閱讀和討論，我們對論文中的論述和論點進行了總結和分析，以支持這些主題並達成我們的研究目的。

以下章節首先概述擴增實境 (AR) 的定義、分類和技術。我們認為，將 AR 視為一種概念而非一種技術類型，對教育者、研究人員和設計者而言更有益。接下來，我們將介紹 AR 系統和應用的功能和優勢。然而，這些引人注目的功能並非 AR 應用所獨有，在其他採用類似技術的科技系統或學習環境（例如，普適運算和行動學習環境）中也能找到。

在課堂中應用擴增實境 (AR) 技術時，科技設計、教學方法和學習體驗之間的契合度可能更為重要。因此，我們提出了 AR 學習環境中常用的三大類教學方法，並探討了 AR 如何幫助學生學習。AR 在提供全新學習機會的同時，也帶來了挑戰。我們概述了 AR 在教育領域應用過程中涉及的技術、教學和學習方面的問題，並探討了部分問題的可能解決方案。最後，基於我們對 AR 研究的分析與討論，我們提出了未來研究的方向。

2. 定義、分類與技術

2.1 AR 的定義

電腦科學和教育技術領域的研究人員對擴增實境 (AR) 細出了不同的定義。

Milgram、Takemura、Utsumi 和 Kishino (1994) 從兩個方面定義了「擴增實境」：廣義定義和狹義定義。廣義上，AR 指的是「透過模擬提示增強對操作者的自然回饋」（第 28 頁）。另一方面，狹義定義則強調技術層面，將 AR 定義為「一種虛擬實境形式，其中參與者佩戴的頭戴式顯示器是透明的，可以清晰地看到真實世界」（第 283 頁）。此外，還有一些研究人員基於 AR 的特徵或特性對其進行定義。例如，Azuma (1997) 就將 AR 可以定義為滿足三個基本特徵的系統：真實世界與虛擬世界的結合、即時互動以及「半真實半虛擬」的精度和準確度。

Klopfer (2008) 指出，AR 一詞不應被嚴格定義。

它可以應用於任何以有意義的方式融合真實資訊和虛擬資訊的技術。根據 Klopfer 和 Squire (2008) 的定義，擴增實境 (AR) 可以廣義地定義為「將真實世界環境與連貫的位置或情境敏感資訊動態疊加在一起的一種情境」。

虛擬資訊」（第 205 頁）。在這種情況下，AR 可以為使用者提供技術介導的沉浸式體驗，其中真實世界和虛擬世界融合在一起（Klopfer & Sheldon，2010 年），使用者的互動和參與度得到增強（Dunleavy、Dede 和 Mitchell，2009）。

對於教育工作者和設計師而言，對擴增實境進行廣義定義會更有益。

因為這樣的定義表明，AR 可以透過多種技術創建和實現，例如桌上型電腦、手持設備、頭戴式顯示器等等（Broll 等人，2008；Johnson 等人，2010b；T.-Y. Liu，2009）。也就是說，AR 的概念並不局限於任何類型的技術，如今可以從更廣闊的視角重新審視它。

AR 利用現實世界的各種可能性，提供額外的情境訊息，從而增強學習者對現實的體驗（Squire & Klopfer，2007）。AR 可能基於技術並與之結合，但其概念應超越技術本身。

2.2 AR 的分類

作為一種情境，擴增實境（AR）是虛擬實境的一種變體，它扮演的是補充而非替代現實的角色（Azuma，1997；Martin-Gutierrez 等，2010）。為了描述現實被補充或增強的程度，過去的研究已經發展出幾種擴增實境的分類方法。Milgram 等人（1994）提出了所謂的“現實-虛擬連續體”，其範圍從完全真實的環境到完全虛擬的環境。在這個連續體中，混合實境可以定義為現實世界和虛擬世界中的物件同時呈現的情境。此外，混合實境包含兩個主要概念：擴增實境和增強虛擬（AV）。根據 Milgram 等人的觀點，擴增實境是現實與虛擬的結合，並且包含的現實成分多於虛擬成分。

而擴增實境（AR）指的是將現實元素融入虛擬環境，並包含更多虛擬資訊。例如，在擴增實境（AR）中，可以將虛擬物體添加到真實環境中；而在擴增實境（AV）中，可以將真實物體投影到虛擬環境中。它們的差異可能在於增強的是現實還是虛擬（W. Liu, Cheok, Mei-Ling, & Theng, 2007）。儘管沉浸式學習環境（虛擬物體和真實物體無縫共存）備受推崇，但擴增實境（AV）和擴增實境（AR）之間的區別仍然需要注意。因此，擴增實境（AR）可以被視為混合現實，其中可能包含更多真實元素。

比虛擬材料和資訊更勝一籌。

在探討 AV 和 AR 的區別問題時，Klopfer（2008）進一步使用了此光譜旨在強調擴增實境（AR）中增強訊息的權重。提供給使用者的虛擬資訊量決定了其權重。輕度擴增實境指的是使用者利用大量來自現實世界的資訊和實體材料，而虛擬資訊相對較少。另一方面，重度擴增實境則包含頻繁可存取的虛擬資訊。該光譜

這表明技術在擴增現實中可能發揮重要作用。在高度增強的世界中，大多數沉浸式技術，例如頭戴式顯示器，都被應用了。對於輕度擴增現實，使用者主要與實體材料和物體進行交互，偶爾才會操作和存取虛擬資訊。由具備位置感知功能的行動裝置所創造的混合現實就是一個典型的例子（Klopfer & Yoon, 2005）。

此外，為了突顯AR的特徵，Broll等人（2008）提出了一種擴增實境（AR）的三維框架。這個三維框架由「沉浸感」（從現實到虛擬）、「普遍性」（從固定到無所不在）和「使用者多樣性」（從單一使用者到潛在的所有人）組成。「沉浸感」維度等同於現實-虛擬連續體（Milgram等人，1994）。 「普遍性」維度指的是系統可能被使用的方式和地點，而「使用者多樣性」維度則涉及並髮使用者的使用程度。因此，擴增實境（AR）可以位於每個維度的中間點。該框架也為透過整合各種技術來建構AR系統提供了設計指導。

2.3 擴增實境技術

科技在擴增實境研究中扮演著重要角色。在一些先前的研究中，“技術”一詞「技術」是擴增實境（AR）定義的一部分。例如，Klopfer 和 Sheldon (2010) 將 AR 定義為一種融合現實世界和虛擬世界體驗的「技術」。上述較狹義的定義將 AR 視為一種帶有頭戴式顯示器的虛擬實境形式 (Milgram 等, 1994)。這個定義反映了 AR 技術的早期發展，當時通常需要使用頭戴式裝置將虛擬資訊疊加到現實世界中。隨著科技的快速發展，AR 的概念可以…

由於可以利用越來越多的硬體和軟體設備，因此其應用範圍將進一步擴大。

為了創造擴增實境技術，例如，手持運算技術的進步為擴增實境開闢了新的機會（Martin等，2011年；Squire 和 Klopfer，2007），並催生了擴增實境的一個子集：行動擴增實境（Feng、Duh 和 Billinghurst，2008）。手持裝置提供的移動性可以增強學習環境的真實性，並增加學習者與他人的互動（Klopfer 和 Meeusen，2010）。因此，行動裝置使得普適擴增實境系統成為可能（Broll 等，2008）。普適擴增實境系統無需使用頭戴顯示器，而是運行在手持裝置上。註冊技術（例如，全球定位系統 [GPS]）的手持電腦上。普適或行動擴增實境系統更加隱晦，並創造一個真實的環境。擴增實境的另一個應用是將混合實境與遠端實驗室結合（Andújar、Mejías 和 Márquez，2011）。透過遠端設備，學生可以遠端操作真實設備和虛擬設備並與之互動。這可擴大學生的實驗範圍，並在虛擬環境中學習，並藉助電腦模擬、遠端實驗室、實體模型以及 3D 或虛擬物件來增強學習效果（Broll 等，2008；Dunleavy 等，2009）。

那麼，AR技術如何應用於教育領域？首先，AR

科技有助於學習者在現實世界中進行真實的探索，而文字、影片和圖片等虛擬物件則為學習者提供了補充元素，幫助他們探究現實世界的環境（Dede，2009年）。擴增實境（AR）最常見的用途之一是在現有空間上疊加基於位置的資訊進行標註（Johnson等，2010a）。其次，AR技術的應用還可以擴展到現實世界和數位學習資源的整合。如同Klopfer和Squire（2008）所展示的，AR的使用使學習者能夠體驗現實世界中不可能發生的科學現象（例如化學反應）。Liu等（2007）介紹了幾個符合此目的的AR系統；透過AR探索，學生能夠在教室的桌子上查看虛擬太陽系，或可視化光合作用的過程。此外，Kerawalla等（2006）發現，AR技術有潛力讓學習者從多個角度參與虛擬材料的操作。

Kaufmann等人（2005）的研究中發展了一個旨在促進數學和幾何教學的三維動態幾何系統（Construct3D）。作為一個擴增實境（AR）系統，Construct3D不僅為學生提供了一個真實的協作環境，還展示了虛擬的三維物體，供學生操作、測量和處理，從而理解空間關係。

儘管擴增實境技術涉及高階電子設備和複雜工具，但正如布羅克（Bronack，2011）所論證的，這些技術本身對教育研究者而言並不重要。更重要的是這些技術如何支持和促進有意義的學習。

將擴增實境（AR）視為一種概念而非某種特定技術，對教育工作者、研究人員和設計師來說更有意義。因此，在接下來的章節中，我們將探討AR在教育領域的功能與應用前景。

3. 功能和特性

AR作為一種混合實境和擴增實境技術，在教育領域具有引人注目的特點；透過連結多種技術來設計擴增實境（AR）系統，可以進一步拓展其潛在功能。基於將AR應用於教育領域的研究，從五個面向探討AR系統的特徵和功能。研究表明，AR可以實現：（1）三維、虛擬內容；（2）普適、協作和情境化的學習；（3）增強學習者的臨場感、即時感和沉浸感；（4）將不可見的事物具象化，（5）連結正規學習和非正式學習。以下我們將逐一討論這些面向。

首先，AR可以透過使用3D合成物件來增強學生的學習體驗。

交互。AR使學生能夠使用3D合成物件來增強對目標系統或環境的視覺感知（Arvanitis等，2007）。學生可以從各種不同的角度檢查3D對象，以增強他們的理解（Y.-C.

Chen、Chi、Hung和Kang（2011）的研究表明，3D AR技術可以應用於天文學教學。Kerawalla等人（2006）則展示了3D AR在天文學教學中的應用實例。該研究包含兩種類型的課程：AR課程和傳統課程。

教學環節。在擴增實境 (AR) 環節中，教師和小學生結合使用多種技術，包括白板、投影機、網路攝影機、AR 模組和虛擬 3D 建模軟體，觀察並旋轉一個虛擬的 3D 旋轉地球，以此學習地球、太陽以及晝夜交替等知識。傳統的教學環節則包括閱讀紙本書、講解太陽係以及使用 3D 實物（例如網球、繩子和手電筒）進行演示，以學習相同的主題。作者分析了教師在兩個環節中提出的問題以及課後對教師的訪談。他們發現，教師們認識到使用 3D 影像的優勢，並認為 AR 可以讓學生更容易接觸到原本難以理解的學科內容。然而，Kerawalla 等人並未比較 AR 創建的 3D 學習體驗是否比操作現實世界中的 3D 實體模型對學生更有益。早期化學教育研究或許能為此問題提供一些見解。

Copolo 和 Hounshell (1995) 發現，同時使用電腦模型和物理模型的學生組的表現顯著優於僅使用其中一種模型的學生組。Wu、Krajcik 和 Soloway (2001) 也認為，課堂教學中應該同時提供電腦模型和實體模型，「因為不同的學生對不同類型的模型和符號系統有不同的偏好」（第 838 頁）。就擴增實境 (AR) 研究而言，還需要更多證據來支持使用基於 AR 的 3D 虛擬模型優於使用現實世界的 3D 模型。

擴增實境 (AR) 的第二個面向涉及手持電腦的應用。借助行動裝置、無線連接和位置註冊技術，普遍或行動 AR 系統能夠實現無所不在、協作式和情境化的學習，並透過電腦模擬、遊戲、模型和虛擬物件在真實環境中進行增強（Broll 等人，2008 年；Darleavy 等人，2009 年）。這類系統的優點包括便攜性、社交互動性、情境敏感度、連結性和個人化（例如，Klopfer，2008；Squire 和 Jan，2007 年；Squire 和 Klopfer，2007）。例如，一些移動 AR 遊戲，如《環境偵探》（Environmental Detectives）（Klopfer，2008；Squire 和 Klopfer，2007）和《瘋狂城市之謎》（Mad City Mystery）（Squire 和 Jan，2007），就是為了支持課堂外的學習而開發的。在「環境偵探」計畫中，學生使用掌上電腦進行調查，收集特定地點的數據，分析並解釋數據，並提出符合實際情況的解決方案。Squire 和 Klopfer (2007) 指出，讓學生在真實空間中玩虛擬遊戲可以提高學生的情境敏感性，並促使他們在考慮所有環境相關因素的情況下做出更明智的決策。此外，在行動環境中使用掌上設備可能會導致學生分心，增加任務中斷（Nagata，2003 年）。由於擴增實境 (AR) 系統可以偵測學生的位置和學習狀態，提供任務提醒，並提供其他選項來重新集中學生的注意力，這些內建的注意力感知功能可能有助於減少注意力分散並管理學生的注意力（Roda & Thomas，2006 年）。此外，當學生透過連網的行動裝置進行操作時，社交互動性也會加強。

此外，還可以提供面對面的互動（Birchfield & Megowan-Romanowicz，2009），並提供針對不同調查路徑量身定製的支架，以促進個性發展（Klopfer，2008）。

第三，Bronack (2011) 聲稱，AR 和其他沉浸式學習媒體（如嚴肅遊戲和虛擬世界）提供了臨場感、即時性和沈浸感。

AR 可以提供一個媒介空間，讓學習者感受到與他人身處同一空間的感覺。

這種臨場感可以增強學生對學習社群的認知（Squire & Jan，2007 年）。此外，擴增實境（AR）系統可以提供即時回饋，並提供語言和非語言線索，從而增強學生的即時感（Kotranza、Lind、Pugh & Lok，2009）。鑑於即時感對於促進學習的情感層面至關重要，將學習者、虛擬物體或資訊以及角色整合在真實環境中的 AR 技術具有提升即時感的潛力。最後，像 AR 這樣的沉浸式媒體可以為學習者提供沉浸感，即「參與到全面、真實的體驗中的主觀感受」（Dede，2009，第66頁）。Dede (2009) 也指出，沉浸感可以使學習融入現實世界的問題、議題和環境中。最近一項行動增強實境（AR）研究利用 AR 技術增強學習者的臨場感、即時感和沉浸感，來支持學生學習有關核能利用和輻射污染的社會科學議題。

3·11事件後福島第一核電廠發生的一系列核事故

在日本地震（Chang、Wu 和 Hsu，2012），九年級學生使用安卓平板電腦收集模擬校園輻射值的資料。校園被設定為距離核電廠約 12 公里，並模擬了核電廠氫氣爆炸後的第一天。研究發現，學生對擴增實境（AR）活動的感知與其對核的態度變化之間存在顯著相關性，這表明 AR 技術有可能影響學習者對現實世界問題的情緒認知。

擴增實境技術（AR）的另一個面向在於，它將虛擬物體或資訊疊加到實體物體或環境中，從而能夠將不可見的概念或事件視覺化（Arvanitis 等，2007；Dunleavy 等，2009）。AR 系統可以利用包括分子、向量和符號在內的虛擬物體，幫助學習者視覺化抽象的科學概念或不可觀測的現象，例如氣流或磁場。例如，增強化學允許學生選擇化學元素，建立 3D 分子模型，並旋轉這些模型（Fjeld & Voegtli，2002）。Clark、Dünser 和 Grasset (2011) 將 3D 內容添加到紙本著色書中，為孩子們提供了一種類似立體書的體驗，讓他們能夠直觀地理解書中的內容。這些增強的實物創造了新的視覺化效果，有望增強學生對抽象和不可見概念或現象的理解。

文獻中指出的第五個可供性面向是，AR 具有以下潛力：
彌合正規學習和非正規學習環境之間的差距。例如，

CONNECT計畫運用擴增實境（AR）及其他技術開發了一個虛擬科學主題公園環境（Sotiriou & Bogner，2008年）。此環境包含兩種模式：博物館模式和學校模式。環境中開發的場景包括虛擬和傳統的科學博物館實地考察、參觀前後的課程活動以及實驗和建模活動。因此，該計畫將學校的科學學習與虛擬和傳統博物館參觀的學習體驗相結合，並利用AR技術增強學生的視覺化、實驗和模型製作。CONNECT計畫的初步評估表明，該環境對學生學習科學的內在動機以及對摩擦概念的理解產生了積極影響（Sotiriou & Bogner，2008年）。

然而，本節中提到的這些引人注目的特性和優勢並非擴增實境（AR）所獨有，因為其中一些特性和優勢也可能存在於其他採用類似技術或概念的系統或環境中（例如，普適計算和行動學習環境）。因此，為了充分利用AR的優勢，探索如何將AR的應用與不同的教學方法結合，以實現既定的教育目標至關重要（Bronack，2011年）。下文我們將介紹並分類在創建AR學習環境和在不同教育環境中實施AR概念時所採用的教學和學習方法。

4. 教學與學習方法

在擴增實境（AR）學習環境的設計中，人們採用了多種教學和學習方法，包括遊戲式學習（Rosenbaum、Klopfer 和 Perry，2007；Squire 和 Jan，2007；Squire 和 Klopfer，2007）、基於場所的學習（Klopfer，2008；Mathews，2010）、參與式（Klopfer，2007）、問題導向學習（T.-Y. Liu、Tan 和 Chu，2009；Squire 和 Klopfer，2007，第375頁）、角色扮演（Rosenbaum等，2007）、工作室教學法（Mathews，2010）以及拼圖法（Dunleavy等，2010）。擴增實境（AR）的不同子集（例如，行動AR、遊戲化AR和多人AR）為這些方法的實作提供了不同的支援。基於這些方法最顯著的特徵，我們將教學方法分為三大類：強調讓學習者參與「角色扮演」的方法、強調學習者與物理「場所」互動的方法以及強調學習「任務」設計的方法。值得注意的是，每種方法可能包含多種學習方法，而某些子方法可能存在重疊。此外，不同類別的方法可能具有相似的哲學基礎或教育心理學觀點。

4.1 強調“角色”

強調讓學習者在擴增實境環境中扮演不同角色的方法

這些方法包括參與式模擬、角色扮演和拼圖式學習。由於這些方法強調學生之間的互動與協作，因此通常與行動擴增實境（AR）、多人AR或遊戲化AR相關聯。參與式模擬可以定義為允許“不同的參與者作為動態系統中的互動組件發揮作用”，因此學生之間的互動會影響系統的結果（Klopfer & Squire, 2008, 第225頁）。病毒遊戲就是一個參與式模擬的典型例子，在遊戲中，學生扮演病毒，模擬傳染病的傳播過程（Klopfer, Yoon & Rivas, 2004）。學生透過手持設備相互傳遞訊息，模擬彼此感染的過程。此外，在某些AR環境中，學生扮演不同的角色，以便深入了解某個主題。例如，在Squire和Klopfer（2007）的研究中，學生被指派扮演環境調查員、科學家和環境運動者的角色，以理解科學調查的社會情境性。學生們不僅參與了模擬系統，而且在扮演不同角色時，還採用了不同的思維方式或獲得了與角色相關的資訊。此外，拼圖式教學法著重於不同角色之間的協作，使學生能夠透過角色扮演來完成任務。在這種設計中，扮演不同角色的學生會獲得獨特的訊息片段。它依賴團隊中不同角色之間的協作或拼圖學習來共同解決問題（Dunleavy等人，2009）。

4.2 強調“位置”

基於場所或地點的學習強調學習者與環境的互動。因此，基於位置註冊技術的行動擴增實境（AR）是物理環境的常用子集。採用這些方法的AR環境利用了行動技術的優勢，因為行動裝置使電腦伺服器能夠追蹤學習者的實際地理位置（例如，De Lucia, Francesca, Passero 和 Tortora, 2012年）。

透過行動裝置和地理定位系統，學習者在到達特定地點時即可獲得相關資訊（Klopfer, 2008）。例如，AR 的應用場景可以是學生實際學習的校園，也可以是學校所在的社區。

基於場所的學習的潛在好處之一是能帶來真實感。

當學生在實際場所工作或穿梭於真實環境中時，可能會感到更貼近「現實」（Rosenbaum 等, 2007 年）。此外，如果熟悉實際環境並就環境問題做出明智的決策是重要的學習目標，那麼讓學生在實際環境的不同地點收集數據或調查問題就能實現這些目標。然而，基於場所的學習面臨的一個常見挑戰是，學生需要應對實際環境的限制（Klopfer, 2008）。

4.3 強調“任務”

第三類主要集中在擴增實境（AR）環境下的學習任務設計。

此類方法包括：遊戲式學習、問題式學習和工作室式學習。由於任務性質多樣，這些方法的實施並不一定依賴特定的擴增實境（AR）技術。在這些方法中，遊戲式學習是AR應用最廣泛的方法之一。AR遊戲可定義為「在現實世界中，借助數位裝置在現實世界情境之上建立虛擬層而進行的遊戲」（Squire & Jan, 2007, 頁6）。遊戲式學習的特徵包括角色扮演、圍繞挑戰的活動、模擬競爭空間、嵌入系統的真實資源和工具（Squire & Jan, 2007）。儘管角色扮演這一特點與角色扮演方法重疊，但遊戲式學習與其他強調學習者角色的方法相比，仍具有其他顯著特徵。遊戲通常包含一項或一系列任務，其特點在於趣味性、挑戰性和好奇心的結合。遊戲提供一個或多個玩家數位訊息，接收並處理玩家的輸入，並根據輸入改變提供給玩家的數位資訊（Kirriemuir & McFarlane, 2003）。例如，在名為《研究所疫情爆發》（Outbreak @ The Institute）（Rosenbaum 等, 2007）的擴增實境遊戲中，學生們共同努力阻止傳染病的進一步傳播。遊戲中的不同角色包括醫生、醫療技術人員和公共衛生專家。學生可以透過與虛擬角色互動以及從系統內建的真實資源和工具中獲取虛擬資料來收集資訊。

另一種基於任務的方法是問題導向學習。這種方法用於…

促進自主學習、自我激勵、問題解決能力和知識應用能力（T.-Y. Liu等, 2009）。儘管基於問題的學習和基於遊戲的學習目標通常不同，但一種方法可以在任務和活動的設計中融入另一種方法。例如，許多擴增實境（AR）遊戲在設計中都包含了問題解決功能（例如，Squire & Klopfer, 2007）。在 T.-Y. Liu 等（2009）的研究中，學生在進行問題解決任務之前先玩遊戲；遊戲化活動和基於問題的活動都包含在學習模組中，但處於不同的學習階段。在 AR 學習活動的設計中，現實問題解決和遊戲化問題解決之間的界線有時會變得模糊。

工作室式學習也強調學習任務的本質，並著重於

透過設計式學習，學生可以設計和製作自己的擴增實境遊戲（Mathews, 2010）。這種方法以基於專案的開放式問題學習為起點，並進行頻繁的設計和評估迭代（Kafai, 1995）。工作室式學習的基本理念是，學生作為設計者，在設計過程中完成各項任務，從而學習設計、內容和技能。例如，在

馬修（2010）帶領一群來自跨學科語言藝術和社會研究課堂的高中生，利用行動裝置識別並研究社區問題，然後獨立或合作設計與這些問題相關的遊戲。最後，他們設計了基於GPS定位的擴增實境（AR）遊戲，並將其應用於行動設備，向其他學生和社區成員普及這些問題。

我們觀察到，AR學習環境的設計通常涉及多種教學方法。例如，AR學習環境可以設計在遊戲情境中，融合基於位置的學習，並採用參與式模擬（Rosenbaum等人，2007；Squire和Klopfer，2007）。透過採用合適的教學方法，AR環境可以充分利用擴增實境技術的優勢，與預期的學習目標相契合，並影響學生的學習方式和學習內容。

5. 學習效果

學生在擴增實境（AR）學習環境中學習什麼以及如何學習？研究表明，AR系統和環境可以幫助學習者以更有效的方式發展在其他技術增強學習環境中也能學到的技能和知識（El Sayed、Zayed和Sharawy，2011）。El Sayed等人（2011）使用AR系統以3D形式呈現課程，使學習者能夠虛擬地操作各種學習對象，並以一種新穎且互動的方式處理資訊。AR環境還可以促進技能習得。Kloper（2008）的研究表明，AR手機遊戲允許學習者組織、搜尋和評估資料和資訊；因此，學習者可以透過這些遊戲培養瀏覽一手和二手資料的能力。

在資訊經濟中，一系列重要且必不可少的新技能可以在AR學習環境中推廣（Mathews，2010；Rosenbaum等，2007）。例如，Rosenbaum等人（2007）的研究表明，擴增實境（AR）學習環境提供的真實感能夠促進學習者對動態模型和複雜因果關係的理解。此外，AR環境可以提升學生的學習動機和興趣，進而幫助他們獲得知識（Sotiriou & Bogner，2008）。具體而言，使用沉浸式和協作式應用可以提高學生的空間能力（Kaufmann & Schmalstieg，2003年；Kaufmann、Steinbugl、Dunser & Gluck，2007年；Martin-Gronau等，2009年）。AR系統還可以支援各種師生互動場景，從而最大限度地促進學習轉移（Kaufmann & Schmalstieg，2003；Dede，2009）。另一類可能在擴增實境（AR）中提升的新技能是心理運動認知（Feng、Duh和Billinghurst，2008）。Kotranza等人（2009）展示了一個應用於臨床醫學的AR系統，該系統在物理環境中嵌入了觸摸感測器，收集感測器數據以測量學習者的表現，然後將這些表現數據轉化為…

視覺回饋。透過使用這套擴增實境系統，學習者可以獲得即時、即時的回饋，這有助於提高他們在認知任務中的表現並增強他們的心理運動技能。

此外，AR系統也為學習困難提供了解決方案。

先前的研究表明，學生通常難以想像地球自轉等不可觀察的現象（Kerawalla等，2006）。

擴增實境（AR）技術可讓學習者操控虛擬物體或觀察在自然環境中不易觀察到的現象（例如，濕地生態系或濕地生物的生命週期）。這些學習經驗反過來可以提升學習者的思考能力和對不可見現象的概念理解（T.-Y. Liu 等，2009），並糾正他們的誤解（Sotiriou & Bogner，2008 年）。儘管目前大多數AR系統都是為科學和數學教學而開發的，因為學習這些學科需要將抽象概念視覺化，但也有一些系統是為有特殊需求的學生和語言學習者設計的。例如，T.-Y. Liu（2009）建構了一個帶有情境感知學習遊戲的AR學習環境，以幫助學生剋服學習障礙，並有效提高學習者的英語口語和聽力技能。

此外，擴增實境（AR）環境能夠促進一些在其他技術增強學習環境中可能無法發展和實施的重要實踐和素養（Squire & Jan, 2007; Squire & Klopfer, 2007）。Squire 和 Jan (2007) 的 AR 遊戲讓學生有機會體驗科學家的思維和工作方式，並將他們的科學知識應用於解決當地社區正在發生的問題。Squire 和 Klopfer (2007) 也指出，AR 遊戲可以啟動學習者的已有知識，將已有知識與現實世界連結起來，並讓學生積極參與學術內容和實踐中。

儘管將擴增實境技術應用於教學和學習似乎很有前景，但一些研究表明…顯示對學習有負面影響，例如參與度低（Kerawalla 等，2006 年）。Kerawalla等人發現，儘管教師們認可在課堂上使用AR系統的優點，但他們希望系統擁有多控制權，以便更好地滿足學生的需求。這表明，與許多新興創新一樣，AR在帶來新機會的同時，也帶來了新的挑戰。下一節，我們將探討與AR在教育領域的應用相關的技術、教學和學習問題，並針對其中一些問題提出可能的解決方案。

6. 科技、教學與學習問題

6.1 技術問題

如前所述，擴增實境技術的一種類型包括頭戴式顯示器和/或裝有電腦設備的額外背包。笨重且昂貴的

設計不當可能會導致不適感和深度感知不良等問題（Kerawalla 等，2006 年）。為了避免這些問題，目前擴增實境（AR）系統的發展採用了便攜式技術，這些技術更加隱蔽，並能增強沉浸感和臨場感。然而，這些系統整合了多種硬體和軟體設備，從而導致一些問題，例如多設備之間的介面問題（Klopfer & Squire，2008）以及設備穩定性問題（Dunleavy 等，2009；Squire & Jan，2007）。如果沒有精心設計的介面或指導學生操作的協議，學生可能難以解讀設備中的線索和現實世界環境，難以識別設備間的資訊流，也難以在虛擬世界和現實世界之間切換（Squire & Jan，2007）。

此外，使用的設備越多，設備故障的風險就越大。如何維持多台設備的穩定性至關重要。Dunleavy 等人（2009）的研究表明，GPS定位錯誤導致學生感到沮喪，並被教師認定為一個非常棘手的問題。幸運的是，近年來門戶網站和無線技術的快速發展有望解決設備整合和穩定性問題。平板電腦或智慧型手機除了可以運行十餘種軟體應用外，還可能配備內建相機、GPS、無線接收器、更快的處理器和大容量硬碟。可以預見，在運行模擬、遊戲、視訊和GPS應用時，AR系統中的便攜式設備將變得越來越整合和可靠。

另一個問題涉及技術設計中位置依賴性的權衡。

以及獨立（Klopfer & Sheldon，2010）。雖然特定地點的技術能夠將學生的學習情境化，建立與特定地點的聯繫，並幫助學生賦予熟悉的地點新的意義，但獨立於地點的設計在便攜性和靈活性方面具有優勢，無需教師和學生身處特定地點，從而可以節省大量的交通成本。為了平衡這兩種方法，教育者和設計者可以考慮一種設計，這種設計不僅能夠連接到現實世界的地點，而且還包含其他地點常見的關鍵功能（Klopfer & Sheldon，2010）。TimeLab 2100 就是一個例子，它將便攜性和特定地點性相結合，並提供通用的現實世界地點（例如，學校和公車站），以便學生能夠找到滿足其學習需求的本地替代方案。

6.2 教學問題

在課堂上應用擴增實境（AR）系統時，也需要考慮一些教學上的問題。首先，與以往許多教育創新一樣，AR在課堂上的應用可能會遇到學校的限制和教師的抵制。與AR相關的學習活動通常涉及一些創新方法，例如參與式模擬和工作室教學法。然而，這些教學方法的性質與傳統教學方法中以教師為中心、以傳授為導向的教學方式截然不同（Kerawalla等人，2006；Mitchell，2011；Squire &

2007 年 1 月)。在給定的時間範圍內涵蓋一定數量的內容等製度限制也為創新實施帶來了困難 (Kerawalla 等人, 2006 年)。

因此, 目前課堂教學方法與 AR 系統所倡導的以學生為中心、探索式的學習方式之間可能存在差距。AR 學習環境的設計者需要意識到這一差距, 並提供必要的支持, 幫助教師和學生彌補這一差距。

第二個問題涉及教學設計。在學習活動和擴增實境 (AR) 的設計中。

在這樣的系統中, 資訊應該如何在兩種現實之間以及不同的設備之間進行分發和流動? 正如克洛普弗和斯奎爾 (2008) 所指出的, 「如何平衡個人化的追求與分散式資訊流和去中心化資訊流與引導式教育活動之間的矛盾, 可能是該平台的核心問題」(第 205 頁)。一套基於學習理論 (例如, 分散式認知和情境學習) 和實證研究的設計指南, 將有助於教育者和設計者解決這一矛盾。

另一個教學問題是擴增實境 (AR) 系統內容的缺乏彈性 (Kerawalla 等, 2006)。在某些 AR 系統中, 內容和教學順序是固定的, 教師無法根據學生的需求或教學目標進行調整。這個問題可以透過使用創作工具來解決 (Bergig, Hagbi, El-Sana 和 Billinghurst, 2009), 這些工具允許教師和學生修改和創建 AR 活動和應用程式 (Klopfer 和 Squire, 2008)。

6.3 學習問題

此外, 學習者及其學習過程也面臨挑戰。在擴增實境 (AR) 學習環境中, 學生可能會因接觸大量資訊、需要使用多種技術設備以及必須完成的複雜任務而出現認知超負荷。也就是說, 學生在 AR 環境中需要同時處理多項任務。Dunleavy 等人 (2009) 報告稱, 學生在參與多人 AR 模擬時常常感到不知所措和困惑, 因為他們既要應對不熟悉的技術, 又要完成複雜的任務。

此外, AR 環境中的任務可能需要學生應用和綜合運用…學生需要掌握多種複雜的技能, 包括空間導航、協作、問題解決、估算 (Estimation) 等 (Dunleavy, 2009)。先前的研究表明, 學生在 AR 環境中學習遇到的挑戰之一在於缺乏這些基本技能 (Kerawalla 等, 2006; Klopfer 和 Squire, 2008; Squire 和 Jan, 2007)。

特別是對於年齡較小的學習者和新手而言, 在進行開放式調查時, 需要額外的支架和支援來幫助他們制定適當的行動計劃, 尋找解決問題的可能方案, 並解釋技術設備提供的線索以及嵌入現實世界環境中的線索 (Klopfer & Squire, 2008 年)。

此外，擴增實境（AR）提供了一種現實與幻想交融的情境，但這種混合現實可能會造成學生的困惑。在克洛普弗（Klopfer, 2008）的研究中，一些學生「分不清遊戲與現實的界線」（頁100）。儘管這種困惑顯示了AR系統的真實性，但脫離真實環境可能不利於學習，甚至可能威脅到學生的身體安全（鄧利維等人，2009）。

7. 未來研究方向

如前幾節所述，我們對實證研究的分析與討論。擴增實境（AR）技術表明，雖然可以透過整合多種技術來創建擴增實境，並且具有支持學習和教學的巨大潛力，但在教育環境中應用AR時仍需考慮諸多問題。此外，這些實證研究在研究設計和證據有效性方面也有其限制。本節將指出以往研究的不足之處，提出需要探索的研究主題和問題，並總結未來研究方向。

與其他較成熟的教育科技（例如多媒體和網路平台）的研究相比，擴增實境（AR）在教育領域的應用研究尚處於起步階段，AR對教與學的影響證據也較為薄弱。多年來，電腦或互聯網在教育領域的應用研究逐漸認識到學習者特徵與技術使用之間的關係，並已證實技術在促進學習成果方面具有一定的有效性（例如，Lee等人，2011年）。許多AR研究仍著重於AR工具的開發、可用性和初步實施（Argotti等人，2002；Blake等人，2009年；El Sayed，2011；Kaufmann和Schmalstieg，2003年）。此外，AR實證研究的一個顯著特徵是，這些研究的設計相對簡單，週期短，樣本量小，且具有探索性。一些研究尚處於早期發展階段，主要依賴學習者對可用性、偏好和效率的自我報告來評估學習效果，例如ARSC（El Sayed等人，2011）、Construct3D（Kaufmann和Schmalstieg，2003）以及CONNECT（Arvanitis等人，2007）的研究。此外，這些研究主要採用以設計為基礎的研究（Klopfer和Squire，2008）和個案研究（Dunleavy等人，2009；Squire和Klopfer，2007）。僅有少數例外，例如Kaufmann和Schmalstieg（2003）、Hsiao、Chen和Huang（2012）以及T.-Y. Liu（2009）所採用的準實驗設計。

因此，為了提供更多關於擴增實境（AR）教育價值的證據，需要進行包含大樣本和有效評估工具的、控制嚴謹且全面的評估研究。此外，為了突顯AR的特性和優勢，研究人員也應繼續探索AR能夠提供而其他學習媒體或概念無法實現的有效課程和技術特徵，從而揭示其教育價值。

擴增實境（AR）學習環境獨有的特質。這些研究的實證證據可以為理論提供訊息，並有助於建構一套AR環境的教學模式和設計原則，從而為解決教學設計中存在的問題提供指導。例如，Enyedy、Danish、Delacruz和Kumar（2012）概述了在物理學習中設計擴增實境活動的兩個原則：（1）利用具身遊戲和參與式建模來支持科學探究；（2）在豐富的符號生態系統中支持漸進式符號化以建構意義。然而，他們也承認，他們採用的單組前後測設計無法系統地考察其設計的某些方面，併計劃採用其他實驗設計來提供更多證據來驗證他們的原則。其他有成效的研究主題包括：辨識影響AR系統有效性的教學因素和條件（例如，Sotiriou & Bogner, 2008），以及檢視個別差異在AR學習中的作用（例如，C.-M. Chen & Tsai, 2012）。

此外，未來的研究應包括對擴增實境環境的深入分析。支持學習和教學為研究人員重新建構教育中的重要概念（例如情境化、真實性和參與度）創造了機會。表1列出了教學方法、可供性和教育概念的可能對應。強調讓學習者在擴增實境（AR）環境中扮演不同角色的方法包括參與式模擬和角色扮演。這些AR環境強調學習者參與不同的角色，並能增強臨場感、即時性和沈浸感。例如，AR中的角色扮演可以讓學生感受到身臨其境，並提供只有在混合現實中才能實現的全面、逼真的體驗。這些學習經驗可能會帶來新的行為、情緒和認知參與形式（Wu & Huang, 2007），這些都需要記錄和理論化。

教育研究。

表1

教育中教學方法、資源與理念的可能契合點

教學 方法	可供性	概念
強調 “角色”	(3)學習者的臨場感、即時感 沉浸式體驗	訂婚
強調 “地點”	(2)無所不在、協作式和情境式學習	情境化
	(5)銜接正規學習與非正規學習	
強調 “任務”	(1)以3D視角學習內容 (4)將不可見的事物視覺化	真實性

筆記。^{1*}這些數字遵循「功能」區段中各項功能的編號。

可供性。

此外，基於位置的學習方法強調學習者與物理環境的互動。如前所述，將基於位置的方法與擴增實境（AR）中的行動技術相結合，可以彌合正規學習與非正規學習之間的鴻溝，並實現無所不在、協作式和情境化的學習（表1）。基於位置的教學方法與AR的優勢相結合，可能會重新定義情境化，情境化被定義為「利用課堂之外發生的或學生特別感興趣的特定情境或事件」（Rivet & Krajcik, 2008, 第80頁）。由於基於位置的學習與AR技術的結合模糊了課堂內外以及正規學習與非正規學習環境之間的界限，情境的構成以及情境化的含義可能會被重新定義。

AR還可以增強基於任務的學習方法的某些特性，因為它透過從不同視角展示內容、任務或問題，並將不可見的事物變為可見的事物（表1），可以改變學習任務的性質並降低其複雜性。如此一來，不真實的任務或許可以轉化為真實的任務，因為精心設計的AR環境可以幫助學習者將任務與現實世界聯繫起來，並賦予其新的意義。然而，任務的真實性程度需要重新思考，因為在AR學習環境中，個人真實性和現實世界真實性可能會隨時間而變化（Shaffer & Resnick, 1999）。

此外，還有一些關於教學設計的研究主題和問題，AR技術的應用前景尚待探索。如前所述，目前大多數AR系統都是為科學和數學教學而設計的，因此未來的研究需要開發更多針對其他學科的AR教育內容。我們需要更多設計嚴謹、分析透徹的教育研究來檢驗AR的學習效果。此外，AR的潛力還可以透過針對不同教育目的（例如評估和輔導）進行設計和應用，並應用於特殊需求學生和終身學習者等不同群體，從而進一步拓展其應用範圍。

此外，由於傳統課堂教學方法與AR系統所帶來的探索式學習方式有
可能衝擊傳統教學，因此未來的研究需要探討如何在保持傳統教學優點的前提下，將AR技術融入校園課程的可能性和解決方案。解決方案可能是為教師提供實質支持，幫助他們客製化AR技術，創建個人化學習活動，並監控學生在AR中的學習進度。

參考

- Andújar, JM, Mejías, A., & Márquez, MA (2011). 擴增實境技術在遠距實驗室改進的應用：增強型遠距實驗室。
IEEE Transactions on

- 教育，54(3), 492-500。
- Arvanitis, TN & Petrou, A. & Knight, JF & Savas, S. & Sotiriou, S. & Gargalakos, M. 等。 (2007)。 對用於科學教育的行動擴增實境系統進行人因工程和定性教學評估，該系統供身體殘疾的學習者使用。《個人與普適計算》，13(3), 243-250。doi: 10.1007/s00779-007-0187-7 Azuma, RT (1997)。擴增實境綜述。《臨場感-遠端操作器與虛擬環境》，6(4), 355-385。
- Bergig, O. & Hagbi, N. & El-Sana, J. 與 Billinghamurst, M. (2009 年 10 月)。用於機械系統創作和增強的原位 3D 草圖繪製。論文發表於佛羅裡達州奧蘭多舉行的第八屆 IEEE 混合與擴增實境國際研討會 (ISMAR)。
- 87-94。doi: 10.1109/ISMAR.2009.5336490
- Birchfield, D., & Megowan-Romanowicz, C. (2009). SMALLab 中的地球科學學習：混合實境設計實驗。《國際電腦支援協作學習期刊》，4(4), 403-421。doi: 10.1007/s11412-009-9074-8 Broll, W., Lindt, I., Herbst, I., Ohlenburg, J., Braun, AK, & Wetzel, R. (2008). 邁向下一代行動擴增實境遊戲。《IEEE電腦圖形學與應用》，28(4), 40-48。doi: 10.1109/MCG.2008.85
- Bronack, SC (2011)。沉浸式媒體在線上教育中的作用。《期刊》繼續高等教育59(2), 113-117。doi: 10.1080/07377363.2011.583186
- Chang, H.-Y., Wu, H.-K., & Hsu, Y.-S. (2012). 整合行動增強現實—一項旨在將學生學習社會科學議題置於情境中的活動。《英國教育科技雜誌》。doi: 10.1111/j.1467-8535.2012.01379.x
- Chen, Y.-C., Chi, H.-L., Hung, W.-H., & Kang, S.-C. (2011). 使用有形和增強教學材料工程製圖課程中的現實模式。《工程教育與實務專業問題期刊》，137(4), 267-276。
- 陳志明、蔡宜寧 (2012)。用於增強互動的擴增實境系統小學圖書館教學。《電腦與教育》，59(2), 638-652。doi: 10.1111/j.1467-8535.2012.01379.x
- Copolo, CF 與 Hounshell, PB (1995)。使用三維模型在高中化學中教授分子結構。《科學教育與技術雜誌》，4(1), 30-33。
- Dede, C. (2009). 用於參與和學習的沉浸式介面。《科學》，323(5910), 66-69。doi: 10.1126/science.1167311
- De Lucia, A., Francese, R., Passero, I., & Tortora, G. (2012)。基於位置感知行動技術的協作式增強校園。《國際遠距教育科技期刊》，10(1), 55-73。doi: 10.4018/jdet.2012010104
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009)。沉浸式參與擴增實境模擬在教學中的應用前景與限制。《期刊》

- 科學教育與技術，18(1), 7-22。doi:10.1007/s10956-008-9119-1
- El Sayed, NAM, Zayed, HH, & Sharawy, MI (2011). ARSC :擴增實境
學生卡 教育領域的擴增實境解決方案。《電腦與教育》，56(4), 1045-1061。doi: 10.1016/j.compedu.2010.10.019。Enyedy, N., Danish, JA, Delacruz, G., & Kumar, M. (2012)。在擴增實境環境中透過遊戲學習物理。《國際電腦支援協作學習期刊》，7(3), 347-378。doi: 10.1007/s11412-012-9150-3
- Feng, Z., Duh, HB-L., & Billinghurst, M. (2008年9月).擴增實境技術的發展趨勢
追蹤、互動和顯示 :ISMAR 十年回顧。論文發表於第七屆 IEEE/ACM 混合與擴增實境國際研討會 (ISMAR) ,英國劍橋。doi: 10.1109/ismar.2008.4637362。
- Kirriemuir, J. 與 McFarlane, AE (2003)。遊戲與學習文獻綜述。布里斯托,英國 :Nesta Futurelab。
- Fjeld, M. 與 Voegeli, BM (2002 年 9 月)。增強化學：一種互動式
教育工作台。論文發表於德國達姆施塔特舉行的國際混合與擴增實境研討會 (ISMAR) ,第259-321頁。doi: 10.1109/ISMAR.2002.1115100
- 蕭國峰、陳乃生、黃淑儀 (2012)。青少年在擴增實境環境下進行運動學習科學教育。《互動式學習環境》，20(4), 331-349。doi: 10.1080/10494820.2010.486682
- Johnson, LF, Levine, A., Smith, RS, & Haywood, K. (2010a). 關鍵新興
中小學教育科技。《教育文摘》，76(1), 36-40。
- Johnson, LF, Levine, A., Smith, RS, & Haywood, K. (2010b). 關鍵新興
高等教育技術。《教育文摘》，76(2), 34-38。
- Kafai, YB (1995).遊戲中的思考 :電腦遊戲設計作為兒童的背景
學習。馬瓦,新澤西州 :勞倫斯厄爾鮑姆出版社。
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). 數學與幾何教育中的擴增實境技術。《電腦與圖形學》，27(3), 339-345. doi: 10.1016/s0097-8493(03)00028-1
- Kaufmann, H., Steinbugl, K., Dunser, A., & Gluck, J. (2005). 空間能力的一般訓練
透過擴增實境進行幾何教育的能力。《網路心理學與行為》，8(4), 330-330。
- Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., & Woolard, A. (2006). “使其成真” :探索
擴增實境技術在小學科學教學中的應用潛力。《虛擬實境技術》，10(3), 163-174。
- Klopfer, E. (2008).增強學習 :行動教育遊戲的研究與設計。
麻薩諸塞州劍橋 :麻省理工學院出版社。

Klopfer, E. 與 Sheldon, J. (2010). 增強你自己的現實 :學生創作

基於科學的擴增實境遊戲。《青年發展新方向》，128，85-94. doi: 10.1002/yd.378 Klopfer, E., & Squire, K. (2008). 環境偵探 :一個

用於環境模擬的擴增實境平台。《教育科技研究與發展》，56(2), 203-228。doi: 10.1007/s11423-007-9037-6
Klopfer, E., & Yoon, S. (2005). 為當今和未來的遊戲和模擬開發

精通科技的年輕人。TechTrends，49(3), 33-41。

Klopfer, E. \Yoon, S. 與 Rivas, L. (2004). Palm 和穿戴式裝置的比較分析

用於參與式模擬的電腦。《電腦輔助學習期刊》，20(5), 347-359。doi: 10.1111/j.1365-2729.2004.00094.x

Kotranza, A. \Lind, DS \Pugh, CM 與 Lok, B. (2009 年 10 月)。即時現場視覺

混合環境下任務表現回饋在共同心理運動-認知任務學習的應用。論文發表於第八屆 IEEE 混合與擴增實境國際研討會 (ISMAR)，佛羅裡達州奧蘭多，第125-134頁。doi: 10.1109/ISMAR.2009.5336485

Lee, SW-Y., Tsai, C.-C., Wu, YT., Tsai, M.-J., Liu, T.-C., Hwang, FK., Lai, C.-H., Liang, J.-C., Wu, H.-C., & Chang, C.-Y. 國際科學教育雜誌，33(14), 1893-1925。

doi: 10.1080/09500693.2010.536998

劉天宇 (2009)。語言導向聽力和口語的上下文感知普適學習環境。《電腦輔助學習期刊》，25(6), 515-527。doi: 10.1111/j.1365-2729.2009.00329.x 劉天宇、譚天華、朱玉玲 (2009)。基於情境的戶外自然科學學習

RFID 支援的沉浸式普適學習環境。教育科技與社會，12(4), 161-175。

Liu, W., Cheok, AD, Mei-Ling, CL, & Theng, Y.-L. (2007). 混合實境教室：從娛樂中學習。論文發表於第二屆數位互動媒體娛樂與藝術國際會議論文集，澳洲珀斯。

Martin, S., Diaz, G., Sanchristobal, E., Gil, R., Castro, M., & Peire, J. (2011). 教育領域的新科技趨勢：七年的預測與融合。電腦與教育，57(3), 1893-1906。doi: 10.1016/j.compedu.2011.04.003

Martin-Gutierrez, J., Saorin, JL, Contero, M., Alcaniz, M., Perez-Lopez, DC, & Ortega, M. (2010). 工程專業學生空間能力發展增強型圖書的設計與驗證。計算機與圖形學，34(1), 77-91。doi: 10.1016/j.cag.2009.11.003

Mathews, JM (2010). 利用工作室教學法讓學生參與設計

- 以行動媒體為基礎的英語教學：實踐與評論，9(1), 87-102。
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). 擴增實境：現實-虛擬連續體上的一類顯示技術。SPIE會議論文集：遠端操控和遠端呈現技術，2351, 282-292。
- 米切爾，R. (2011)。外星人接觸！：探索教師如何實施擴增實境教學法現實課程單元。《計算機在數學和科學教學中的應用雜誌》，30(3), 271-302。
- Nagata, SF (2003). 行動網路任務中的多工處理與中斷。《人類因素與工效學學會年會論文集》，47(11), 1341-1345。doi: 0.1177/154193120304701105
- Rivet, AE 與 Krajcik, JS (2008)。情境化教學：利用學生的先前經驗知識和經驗有助於培養學生對中學科學的理解。《科學教學研究期刊》，45(1), 79-100。doi: 10.1002/tea.20203
- Roda, C., & Thomas, J. (2006). 注意力感知系統：理論、應用與研究議程。《人機互動》，22(4), 557-587。doi: 10.1016/j.chb.2005.12.005 Rosenbaum, E., Klopfer, E., & Perry, J. (2007). 位置學習：基於網路擴增實境的真實應用科學。《科學教育與技術期刊》，16(1), 31-45。doi: 10.1007/s10956-006-9036-0
- Shaffer, DW 與 Resnick, M. (1999)。「厚重」的真實性：新媒體與真實性學習。《互動式學習研究雜誌》，10(2), 195-215。
- Sotiriou, S. 與 Bogner, FX (2008)。可視化不可見之物：擴增實境作為一種創新科學教育方案。《先進科學快報》，1, 114-122。doi: 10.1166/asl.2008.012
- Squire, K. 和 Jan, M. (2007). 瘋狂城市之謎：培養科學論證技能在手持電腦上使用基於位置的擴增實境遊戲。《科學教育與技術雜誌》，16(1), 5-29。doi: 10.1007/s10956-006-9037-z Squire, K., & Klopfer, E. (2007)。手持電腦上的擴增實境模擬。《學習科學期刊》，16(3), 371-413。doi: 10.1080/10508400701413435 吳漢坤、黃玉玲 (2007)。九年級學生在以教師為中心和以學生為中心的技術增強學習環境中的參與。《科學教育》，91, 727-749。doi: 10.1002/sce.20216
- Wu, H.-K., Krajcik, JS, & Soloway, E. (2001). 促進對化學的理解表徵：學生在課堂上使用視覺化工具的情況。《科學教學研究期刊》，38(7), 821-842。doi: 10.1002/tea.1033