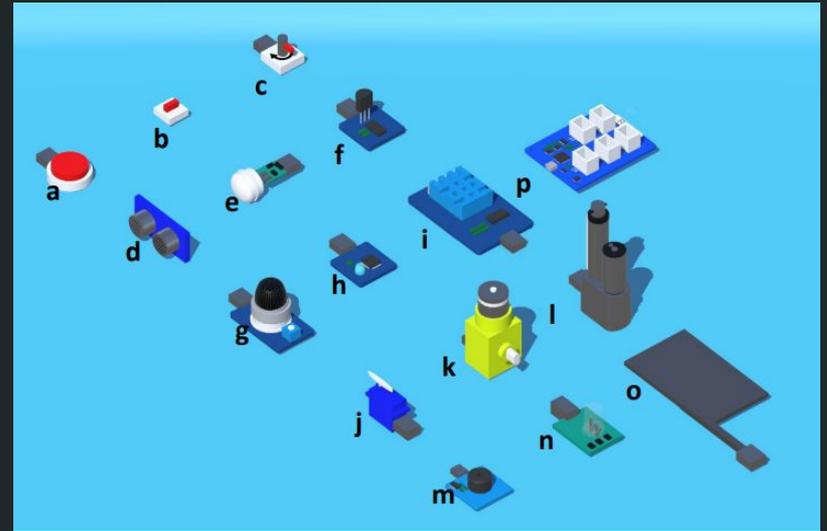


# LearnIoT VR



An End-to-End Virtual Reality Environment Providing Authentic Learning Experiences for Internet of Things

ACM CHI 2023 <https://doi.org/10.1145/3544548.3581396>

111003853 跨院博(科技藝術) 劉士達



# LearnIoTVR: An End-to-End Virtual Reality Environment Providing Authentic Learning Experiences for Internet of Things

**作者:** Zhengzhe Zhu, Ziyi Liu, Youyou Zhang, Lijun Zhu, Joey Huang\*, Ana M. Villanueva, Xun Qian, Kylie Peppler\*, Karthik Ramani 普頓大學、加州大學\*

**Keywords:** Virtual Reality, IoT, Block-based Programming, Project-based Learning, Immersive Programming, Embodied Interaction

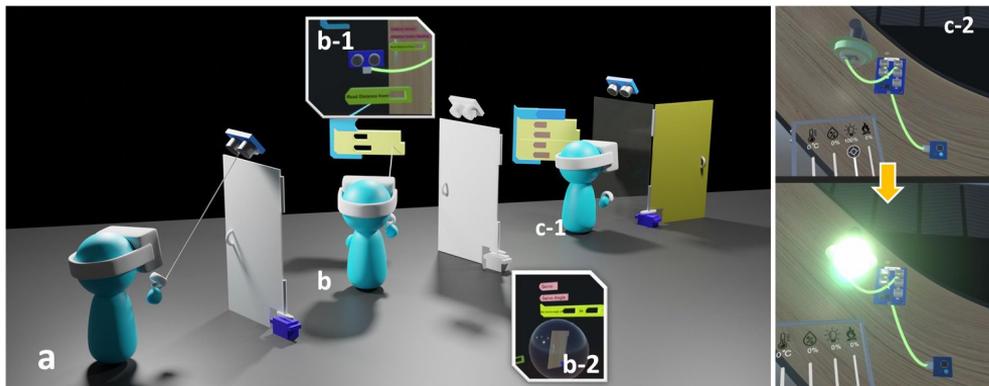
**出處:** ACM CHI 2023 (2023/4/25 12:20-12:34 才會發表)

<https://programs.sigchi.org/chi/2023/program/session/97385>

DOI: <https://doi.org/10.1145/3544548.3581396>



Zhengzhe Zhu



# Convergence Design Lab

Lab 主持人: Dr. Karthik Ramnai

成立於普頓大學

主軸: 融合與設計

Augmenting Humans by blending digital and physical environments to extend and enable new spatial, remote, and cognitive capabilities of humans

方向:

- **Human-Machine Symbiosis**
- **Authoring environments for extended & remote realities**
- **Skilling, Learning, and Playing**



Welcome to the

## CONVERGENCE DESIGN LAB

Professor Karthik Ramnai  
Donald W. Feddersen Distinguished Professor in Mechanical Engineering  
Professor of Electrical and Computer Engineering  
Professor of Educational Studies, College of Education (by courtesy)



News from the Lab

Stay current with news, stories, and events around the Convergence Design Lab and Professor Ramani.



Research

Our Lab's most recent research focuses on the convergence of AI, AR/VR/MR, learning modalities, and the Future of Work from both an industry and education perspective.



Programs and Courses

The Convergence Design Lab is responsible for a wide variety of programs and courses from STEAM K-12 summer camps to ME444 Toy Design at Purdue University.

# LearnIoTVR: An End-to-End Virtual Reality Environment Providing Authentic Learning Experiences for Internet of Things

## ABSTRACT:

The rapid growth of Internet-of-Things (IoT) applications has generated interest from many industries and a need for graduates with relevant knowledge. An IoT system is comprised of spatially distributed interactions between humans and various interconnected IoT components. These interactions are contextualized within their ambient environment, thus impeding educators from recreating authentic tasks for hands-on IoT learning. We propose LearnIoTVR, an end-to-end virtual reality (VR) learning environment which helps students to acquire IoT knowledge through **immersive design, programming, and exploration of real-world environments empowered by IoT** (e.g., a smart house). The students start the learning process by installing **virtual IoT components** we created in different locations inside the VR environment so that the learning will be situated in the same context where the IoT is applied. With our **custom-designed 3D block-based language**, students can program IoT behaviors directly within VR and get immediate feedback on their programming outcome. In the user study, we **evaluated** the learning outcomes among students using LearnIoTVR with a **pre- and post-test** to understand to what extent does engagement in LearnIoTVR lead to gains in learning programming skills and IoT competencies. Additionally, we examined what aspects of LearnIoTVR support **usability** and learning of programming skills compared to a traditional desktop-based learning environment. The results from these studies were promising. We also acquired insightful user feedback which provides inspiration for further expansions of this system.

- 作者提出一個以 學習「IoT 系統」虛擬VR平台工具
- 目的提升教育工作者在實際物聯網學習的教學方法
- LearnIoTVR是一套VR學習平台 ( 未來可以客製化 )
- LearnIoTVR可以用VR工具建構 虛擬物聯網 組件
- LearnIoTVR可以透過 3D積木式程式語言 進行編程
- LearnIoTVR有採用前後測方式進行評估學生的學習成效
- LearnIoTVR相較於傳統學習方式, 更具有可用性



# Introduction

**動機:** IoT以發展了相當蓬勃且成熟, 預估到 2025年仍有11兆美元的經濟規模, 值得培育更多人才去學習

**目標:**

In this work, we aim for the learning goals defined by **Lechelt [68]** which encompasses:

1. understanding the basics of IoT components (e.g., sensors and actuators)
2. understanding how these components interact with each other in an overall system
3. employing basic programming skills to create IoT applications

**期望解決的問題:** IoT在真實世界中的組裝困難, 要作為練習的過程必須把物件先嵌入到真實環境中, 但又希望能保有動手做的真實體驗學習經驗。另一方面, 若要做大量部屬的模擬, 需花費很高的金額才能實現, VR正好可以節省成本又能達到真實環境的模擬。

[68] Susan Zuzanna Lechelt. 2020. [Introducing the Internet of Things in classrooms through discovery-based learning and physical computing](#). Ph.D. Dissertation. UCL (University College London).

# Introduction

**契機:** VR已經用在很多不同學科的真實學習體驗, 但完全以 IoT學習的VR環境尚未有

**挑戰:** 在VR世界中學習IoT不只是模擬, 更主要是設計一個編寫程式碼的 API接口, 因這一個部份才是物聯網系統學習的核心價值。

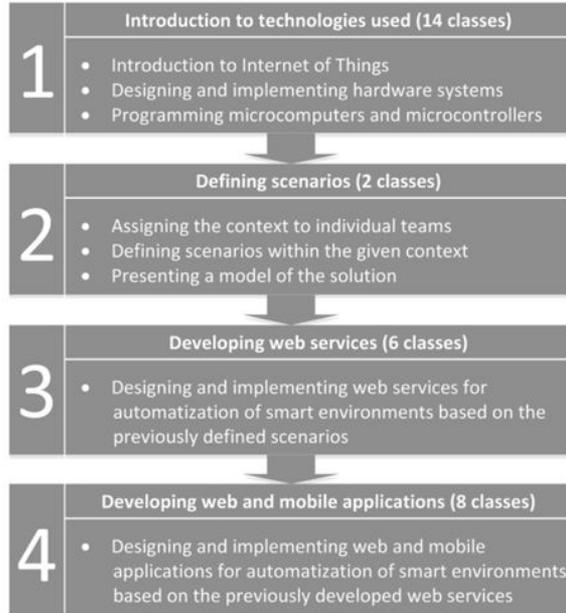
**突破:** 因傳統的2D編程環境受限於與3D環境的互動方式不相容, 3D編程變成一大挑戰, 為了突破此技術, 本研究從**直接把編程的API做在VR環境之中**, 讓使用者直接沉浸式的進行編寫代碼。

**貢獻目標:**

- IoT 學習系統的Framework, 可運作在VR環境之中
- 客製化的3D編程, 可進行沉浸式的VR介面進行IoT物聯網學習
- 具有彈性的探索環境, 可讓學生自由的以第一人稱視角進行各項參數調整
- 使用使用者評估與分析學習成效, 與傳統的教室學習環境進行相比較

# Related Work

- IoT學習方法的相關研究：
  1. A PLATFORM FOR LEARNING INTERNET OF THINGS ( Zorica et al. 於2014年發表)
  2. Courses,Content,andToolsforInternetofThingsinComputer ScienceEducation ( Barry et al. 於2017發表)



不同的主題建構 IoT系統架構知識

1



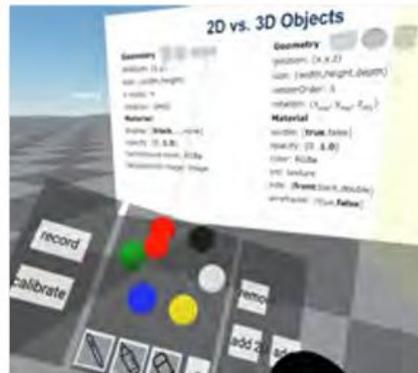
2

因空間不足 用卡片替代

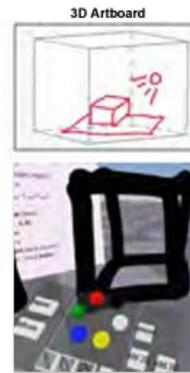
Figure 2. IoT course structure

# Related Work

- VR學習相關研究：
  1. An accessible platform for everyday educational virtual reality ( Catherina et al. 於2016年發表)
  2. RiftArt: Bringing Masterpieces in the Classroom through Immersive Virtual Reality ( Casu et al. 於2015發表)
  3. XRStudio: A Virtual Production and Live Streaming System for Immersive Instructional Experiences ( Nebeling et al. 於2021發表)

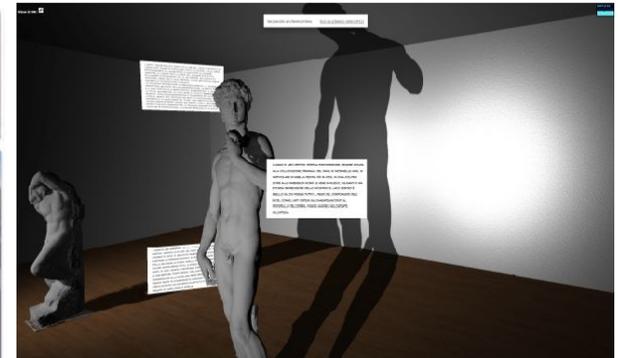


XRStudio



Masterpieces in the Classroom through Immersive VR

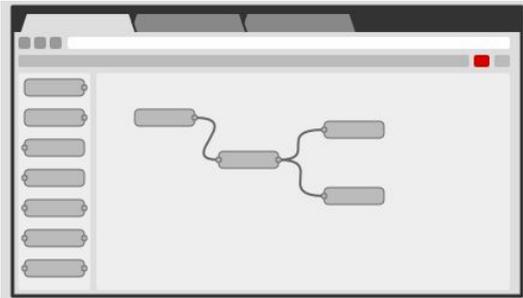
79



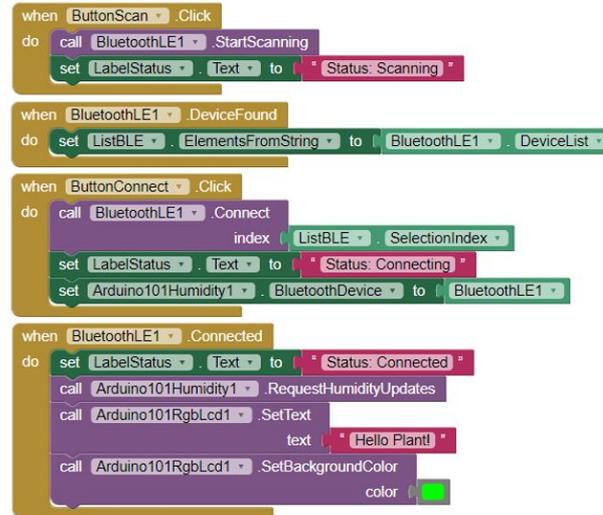
RiftArt

# Related Work

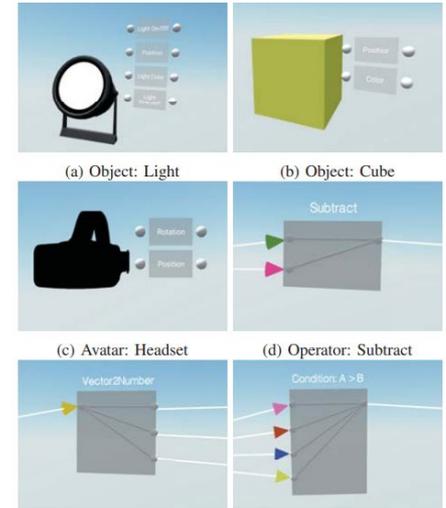
- VR的編程介面相關研究: ( **Immersive Programming** )
  1. NodeRed : <https://nodered.org/> (開源軟體, 在2016年由IBM公司推出)
  2. Blocks+ : “Block-Based Approaches to Internet of Things in MIT App Inventor” (Wen Xi & Evan W. Patton 於 2018提出)
  3. Studying the Benefits and Challenges of Immersive Dataflow Programming (Lei Zhang & Steve Oney 於 2019提出)



NodeRed  
(Flow-based programming)



block-based programming



Immersive-based programming<sup>10</sup>

# Theoretical Framework

- **Cognitive Theory of Multimedia Learning ( CTML )** 多媒體學習認知理論, 源自於Richard E. Mayer於2002年"Multimedia learning"一書中提出, 最初用於多媒體環境下學習以及理解資訊內容, 常用在教育相關的學習活動方面, 例如: 注意力、感知、記憶、思考和推理等過程, 多媒體素材就可以提供各種聽覺、視覺、動作等功能提高學習者的注意力與記憶力, 促進學習知識的深度。
- 在CTML裡面的The Spatial Contiguity Principle(空間鄰近原則)提到: **"當相應的文字和圖片在頁面或屏幕上彼此靠近而不是彼此遠離時, 學生會學得更好。"**
- 在CTML另外一個The Temporal Contiguity Principle(時間連續原則)提到: **"不同形式的學習媒體(圖、文)應該同時交付。"**及於這個原則, LearnIoTVR在學生不斷改變環境時, 感測器的數值即時呈現在VR環境中。

# Theoretical Framework

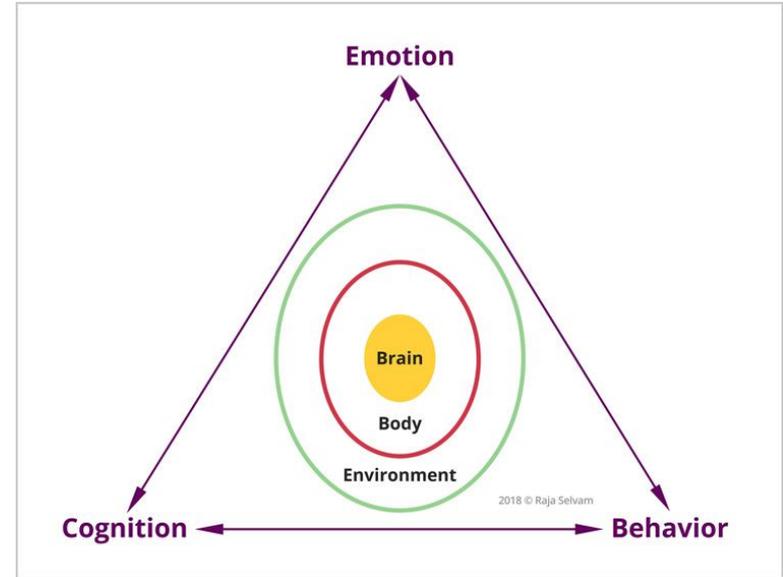
- **Cognitive Load Theory (CLT)** 認知負荷理論, 在1988年由John Sweller針對問題解決而發展的, Sweller認為教學設計可減少學習者的認知負荷。認知負荷理論基本原則是, 教學的主要功能是儲存長期記憶, 知識如果以圖形方式存在長期記憶內, 圖形可以根據訊息的元素來組織知識, 它可以提公知識組織與儲存, 減少記憶負荷。
- 認知負荷有三種型態
  - 內在認知負荷 Intrinsic Cognitive Load
  - 認知負荷 Extraneous Cognitive Load
  - 增生認知負荷 **Germane Cognitive Load**
- 增生認知負荷 Germane Cognitive Load

Germane Cognitive Load意思是有效的認知負荷, 透過教材或教學設計, 幫助學習者建立認知基模, 看似增加學習者的認知負荷感, 但這種增生負荷是促進學習而非干擾學習的。

- 本篇論文題到 LearnIoT VR的顯示內容會避免無關緊要的 內容淹沒學生學習, 例如 說僅顯示完成的程式, 其餘未完成的程式是隱藏的。同時, 允許學生調整 VR畫面中的面板 (panel)顯示方式, 可以直接更改參數。

# Theoretical Framework

- **Embodied Cognition** 具身認知, 由Wilson R. A. , Foglia L.於2011年的Stanford Encyclopedia of Philosophy 提出, 主要探討身體活動與認知過程。
- 在心理學與神經生物學也越來越多教育學者進行運用, 結合學生的身體進行教育經驗的研究, 被稱為Emodied Cognition, 尤其一些研究人員試圖用身歷其境的方式來探討身體互動。
- LearnIoTVR加入了Emodied Cognition概念, 讓學生可在虛擬環境中改變背景, 甚至在虛擬環境中看見自動門打開、打開火爐的煙霧飄起、在一個充滿煙霧的環境中進行感測器設定...等, 更直覺與值觀的狀態讓學生進行學習與操作。



**Embodied Cognition:** Cognition, emotion and behavior are all embodied and embedded in the brain, body, as well as the environment. They affect each other but emotion is primary, as emotion is a stronger mediator of cognition and behavior.

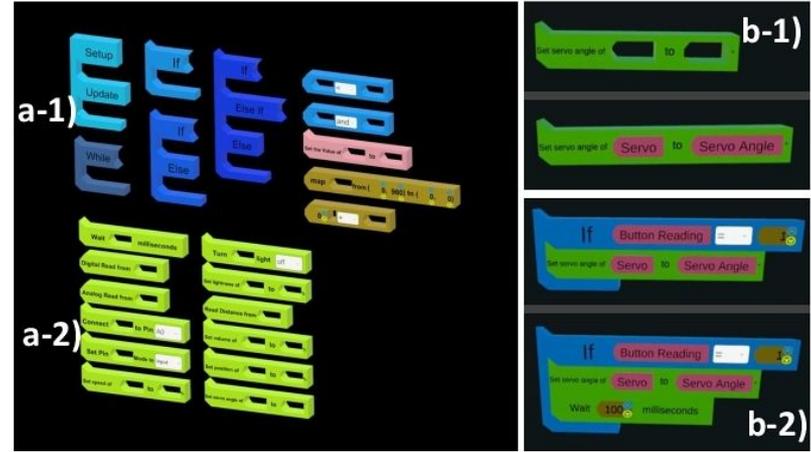
# System Overview

- **Virtual IoT Components** :本研究首先設計了基本物聯網常用的學習模組，並把這些模組設計成3D物件化，並且針對這些物件是跟一般銷售通路上都可以買到的樣式一致，可以減低日後學習者的認知錯誤。
- 此研究完成的16項模組元件庫如下：
  - a. 按鈕 b.開關 c.可變電阻
  - d. 超音距離感測器 e.PIR人體感測器 f. 溫度感測器
  - g. 氣體感測器 h. 光傳感器 i.濕度感測器
  - j. Servo馬達 k. 直刷馬達 l.線性馬達
  - m. 蜂鳴器 n.LED模組 o. 加熱板 p. 控制板與接口



# System Overview

- **3D Block-based Programming Language** : 此研究基於3D程式語言，每一個Block都設計成一個立方體，並且可以互相卡扣在一起完成程式碼的邏輯處理。
- 在這個系統中，借用Blockly( Google )的編程邏輯，由上往下進行邏輯判斷，每一塊互相組合時，內部有對應的參數可以進行改變，這樣的方式適合直覺的去改變每一個IoT物件的邏輯處理或參數。
- 在此3D編程中，又分成了基本邏輯模塊，像是if、while、if-else、switch...等。另外還又擴充了跟感測器有關的不同模組，像是setPin功能去設定Servo馬達。

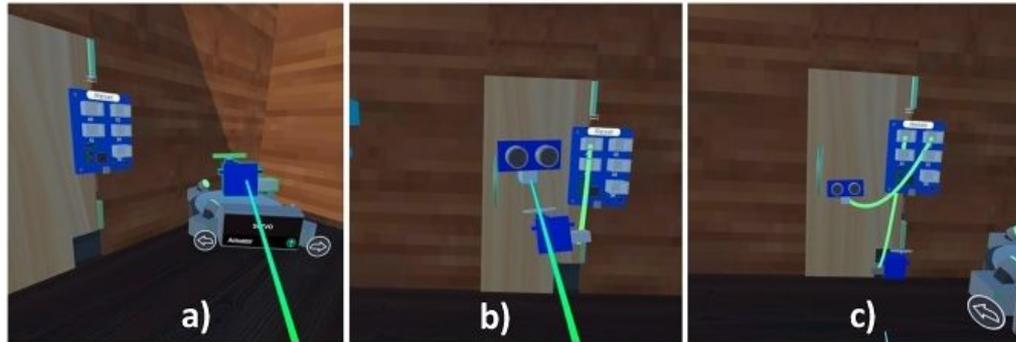


a-1 屬於通用模塊  
a-2 屬於IoT專用模塊

b-1 控制servo轉動  
b-2 控制某條件達成時servo轉道某角度

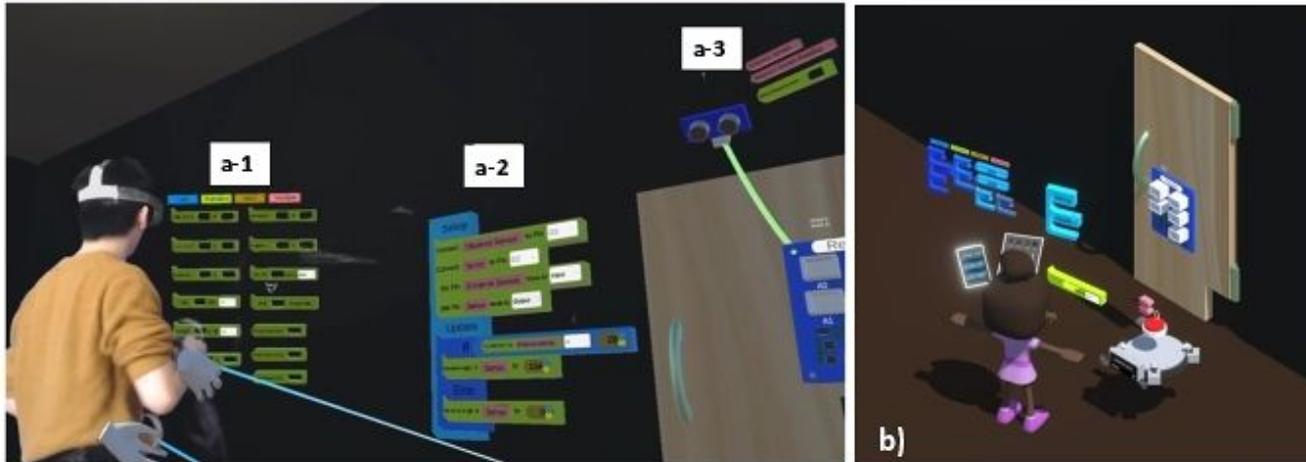
# System Overview

- **Installation Interface** :使用者開始學習時, 可直接到VR環境之中的相對空間中, 例如在門框上安裝一個距離感測器來檢測是否有人靠近, 當靠近的時候就轉動Servo讓門打開, 這個過程就讓門變成了自動門。
- 在安裝介面上, 使用者可先透過一個元件庫(components in the library), 選擇適當的元件之後直接掛載在該實體物件上(虛擬畫面中), 如下圖a。然後利用每一個模組上面都有對應的腳位(Pin), 從pin拉到對應的pin點, 讓感測器之間串接起來完成模組的安裝如下圖b。這邊也必須讓學生在學習的時候確認安裝的角度, 如果Servo的轉軸錯誤, 也會造成程式碼正確但門不會打開的過程, 可以更接近實際狀況, 如下圖c。



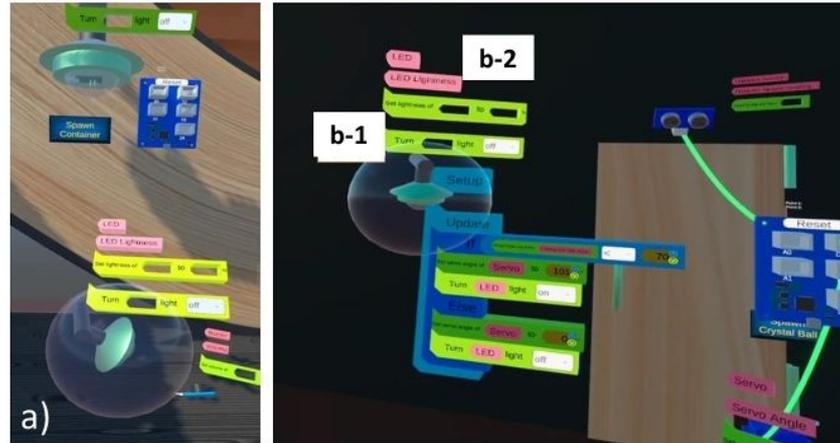
# System Overview

- **Programming Interface** : 本研究的核心價值在於3D化編程與IoT模組的銜接，學生可以直覺的把物聯網組件放置好對應位置，並把連接線接好之後，點選編程介面進行選取所需的Block，如圖a-1。然後再根據該物聯網所需的動作邏輯進行編程，如a-2。最後把這些邏輯放入該物聯網模組之中使它驅動起來，如圖a-3。
- 這個步驟是讓單一個設備進行物聯網編程，學生完成這一個單元就可以學習到如何完成一個自動門的元件組裝、程式邏輯、還有可能遭遇到到的困難點。



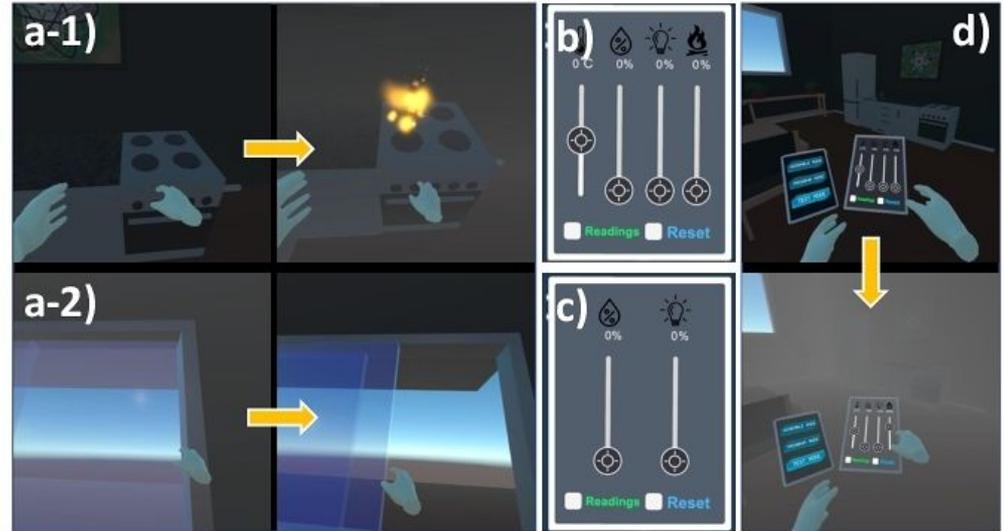
# System Overview

- **Multi Device Programming** :除了上面述的單一設備，物聯網系統常見的狀態是多個設備，並且不同設備進行交叉式互動，例如使用者常希望打開一個門之後，讓門後面的燈也自動打開。但使用者在編寫這個邏輯時，很難全面了解各空間的設備分布，此研究提出一個稱為"container"的互動工具，它可以讓使用者事先創建好該設備的分身(副本)，然後用半透明方式表示，如下圖b-1、b-2。只要是被收Container的虛擬物件可以被任意移動到不同虛擬場景，如此一來使用者就可以再門還沒開之前做好該設備的功能，然後再做最後的連動程式設計。



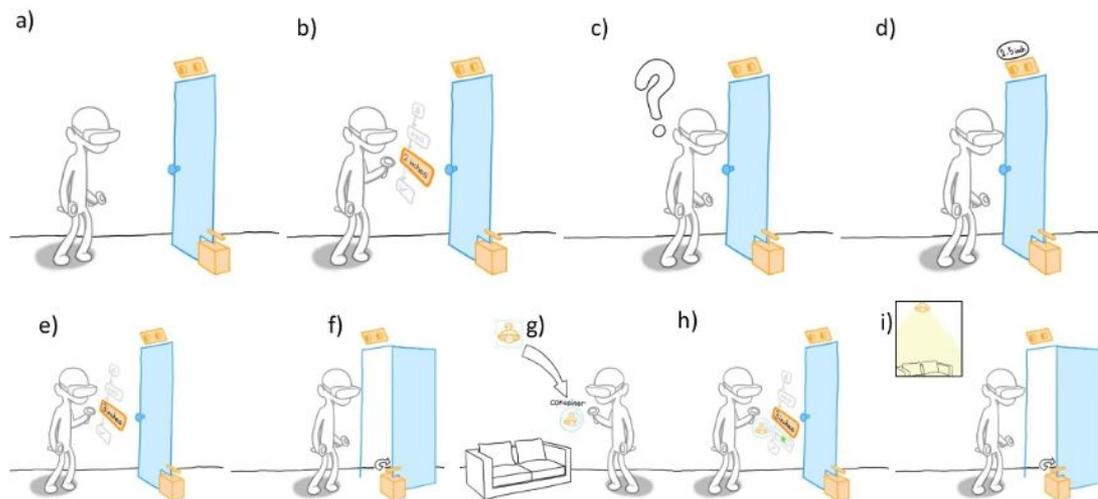
# System Overview

- **Exploration Interface** :除了物聯網的物件擺放, 學生可以進入探索介面模式, 讓一些參數化的東西可以進行調整。例如學生被允許用活動來改變環境情境, 觀察物聯網的相應影響。
- 此系統除了IoT編程學習, 還可以模擬一些真實狀況, 例如透過參數去改變溫度、濕度、亮度, 如同圖a-1的火爐可以打開; 圖a-2的窗戶可以推開; 圖b與圖c都可以直接改變參數, 圖d可以看到原本房間內沒有煙霧, 透過參數調整後可以產生濃霧模擬失火狀況。



## System Summary: A Detailed Scenario

- hands-on learning experience 實踐學習經驗:** 下圖a到i是模擬一個學生Bob想要學習物聯網的學生，他想創造一個自動門，靠近的時候門可以自動打開如圖 a，並經過了程式碼進行編寫如圖 b，但後來沒有辦法開啟門如圖c，後來他發現了原來是距離閾值設定太小，所以又透過 Display Reading 選項修改，如圖 e。最後靠近之後門可以正確開啟了如圖 f。後來他又想加入電燈的功能，於是乎在旁邊先編寫好 IoT 物件與程式碼如圖 g，最後完成編碼邏輯的連動如圖 h，如此一來只要 Bob 靠近門之後門會自動打開，並且房間內的燈也會自動打開。



# User Study Evaluation

- 此研究有進行兩個session進行使用者評估, 主要以SUS System Usability Scale, 系統可用性來進行
- 次要以傳統的2d屏幕與3D環境學習進行比較, 以利用來探討學習成效。
- 本研究有進行教育效能與可用性 ( Educational Efficacy Efficay Usaility )的可用性評估, 總共24位參與者(15男性, 9名女性), 年齡介於18~25歲, 這24受測者當中71%參與者沒有任何編程的經驗, 83%沒有任何電子相關設備的編程經驗, 17%的有VR體驗, 但都僅限於遊戲體驗。
- 受測之前, 參與者都會收到實驗的說明, 先在紙上完成pre-test, 評估受測者過去對於物聯網與相關編碼的知識, 也會提供一些對於組織、編寫、閱讀與理解對於代碼的練習。
- 任務1: 對門進行編程( Servo + 超音波感測器 + 按鈕 )
- 任務2: 整合任務1的目標, 並加上其他感測器( 線性馬達、開關、可變電阻、煙霧感測、蜂鳴器)
- 最後完成任務後給予SUS 系統可用性量表問卷

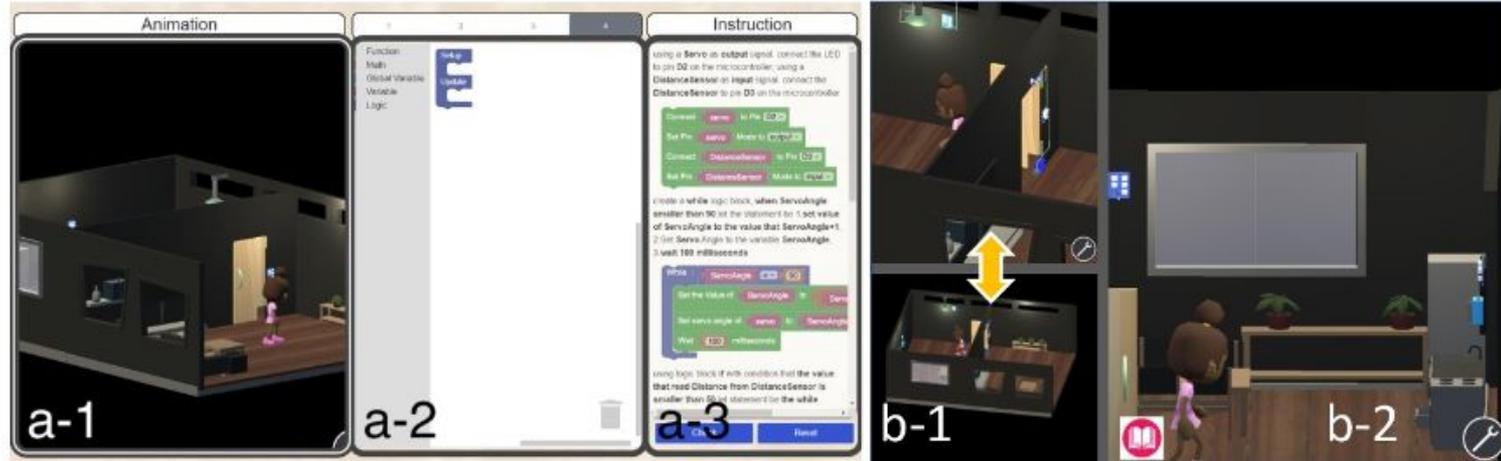
# User Study Evaluation

- 在前後的分析結果，相同的問題下每個關鍵答案的結果都顯著的比學習之前來得高。M平均值、SD標準差、P值都具有統計意義。
- 針對SUS問卷，所收回的分數為75.4總體情緒來說，使用者享受學習體驗但需要更長的時間來普遍習慣VR技術。此外，大多數的參與者也同意可以直接修改程式跟環境參數有助於對物聯網的理解。

Type	Key Competency	Time	M	SD	Sig.
IOT Specific Knowledge	K1: Component Type Identify and set a PIN mode	Pre-Test	0.2708	0.25449	Z = -4.141 p < 0.001
		Post-Test	0.9021	0.21543	
		Gain	<b>0.633014202</b>		
	K2: Digital vs Analog	Pre-Test	0.6458	0.42934	Z = -2.743 p = 0.006
		Post-Test	0.9583	0.14116	
		Gain	<b>0.314531243</b>		
	K3: Components function and capability understanding	Pre-Test	0.2925	0.24825	Z = -4.289 p < 0.001
		Post-Test	0.8517	0.16032	
		Gain	<b>0.560840458</b>		
Computational Thinking	K4: Conditional(If If-else)	Pre-Test	0.3096	0.3454	Z = -4.022 p < 0.001
		Post-Test	0.8483	0.19437	
		Gain	<b>0.540372995</b>		
	K5: Loop(Update, while)	Pre-Test	0.3542	0.3753	Z = -3.466 p < 0.001
		Post-Test	0.7771	0.23819	
		Gain	<b>0.424403236</b>		
	K6: variable(assignment)	Pre-Test	0.2563	0.33124	Z = -4.018 p < 0.001
		Post-Test	0.8033	0.20967	
		Gain	<b>0.548405563</b>		
	K7: Numerical calculation(Map value map wrong or +,- )	Pre-Test	0.2333	0.34317	Z = -3.932 p < 0.001
		Post-Test	0.8154	0.23498	
		Gain	<b>0.583461215</b>		
K8: Function(wait, map,AnalogRead)	Pre-Test	0.3229	0.37935	Z = -3.789 p < 0.001	
	Post-Test	0.8292	0.26862		
	Gain	<b>0.507940139</b>			

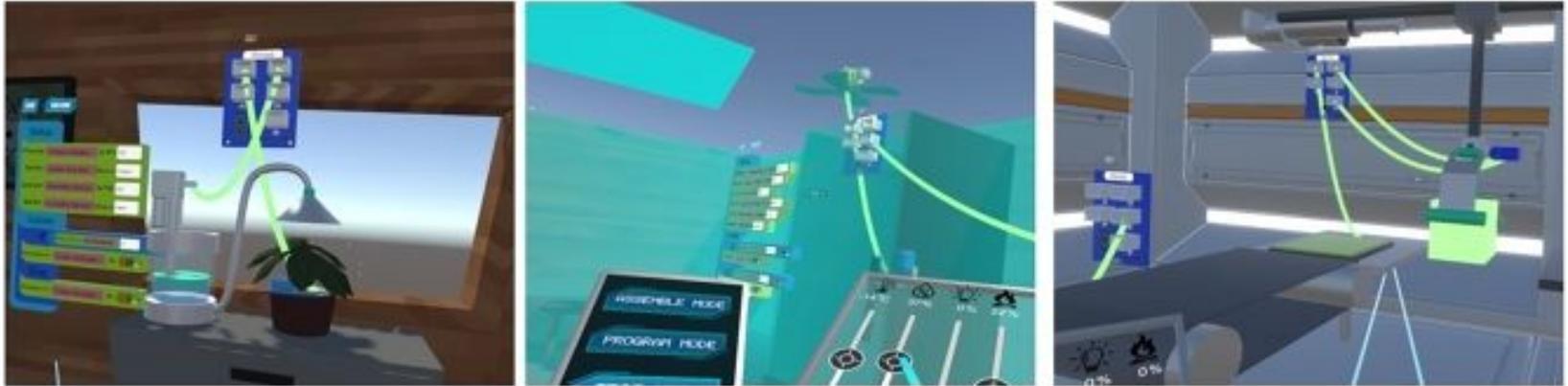
# User Study Evaluation

- 使用者經驗的定性分析( A Qualitative Study on User Experience ): 在這個研究中，一般積木式編程是基於網站上的 Windows、Icon、Menu、Pointer 系統進行設計介面，本研究希望進行2D螢幕與3D環境之中的互動體驗進行分析。受測者共招募6位(5男, 1女)，年齡19~26歲不等，這些受測者都有基本電子編程經驗，包括動手進行設備配置的能力，其中4位還擔任過助教，透過LearnIoTVR系統的兩項任務研究結果顯示，受測者都更喜歡3D編程的方式。



## Example IoT Applications

- LearnIoTVR支援不同的學習體驗多樣性, 本論文提供三個學生進行物聯網學習後的成果與創造:
  - 植物澆水系統: 當土壤濕度感測器偵測到太乾, 線性馬達就會自動抽水灌溉。
  - 智能衛浴系統: 當浴室溫度太高會自動調節, 人體感測器會自動偵測人進入後開啟溫溼度控制, 離開後關閉
  - 自動化工廠系統: 當大量工業材料不斷運輸, 安裝在傳送帶下面的壓力感測器可以模擬滑軌跟馬達上的驅動器



# Discussion & Future Work

- Educational Benefit of Immersive Programming: 沉浸式編程對於教育具備有趣性、可以自己發展學習 內容或故事
- Symbiosis Between Virtual and Physical Learning: 虛擬與實體的學習共生, 實體學習 Arduino還是必要的, LearnIoTVR是屬於一個支援的角色, 彌補在現實生活中沒辦法達成的問題, 對於成本來說也是可以在初期不採購昂貴的電子零件進行學習。
- Collaborative IoT Learning Experiences: 協作學習在目前還沒辦法達成, 因此還沒辦法做到更高層次的長期記憶學習方法, 未來會有更多教育界來理解這一塊的實際做法。
- Continuation of the User Study
  - 使用者用戶回饋的意見進行持續性改善。
- Scalability of the Programming Interface
  - 用於3D編程時, 要大規模的數量要進行切換會變很複雜, 所以需要做到自適應的方式去改變模組, 讓使用者更能理解大規模部屬的困難。
- Making LearnIoTVR Accessible to the General Public
  - 針對LearnIoTVR 的被公開進行結合 AI技術來協助教師, 透過自然語言的 RobotAR 可以展示導師的能力。

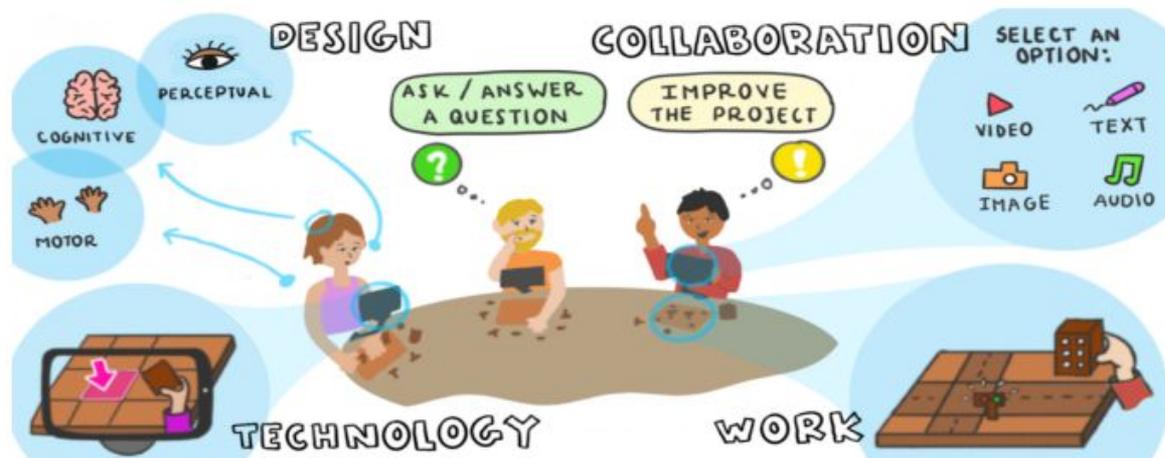
# LIMITATIONS & CONCLUSION

- Limitation在本研究的實作中，用VR眼鏡太重或有暈眩感，價格較高，VR頭盔的發展也是這幾年才逐漸解析度拉高。因過去的教育界老師們習慣用都把動態資料用一些數位工具來運用，VR技術隨著時間成熟，可以透過虛擬方式來同步進行，老師可以透過外部提供指導，便能把協作環境的潛在好處進行結合。
- Conclusion的部分，LearnIoTVR可以用3D編程方式來進行，所讓24位參與者的學習收益高達50%，具有一定的學習成效。
- 未來LearnIoTVR會將套系統進行公開(可能在github)，可以讓學生自由探索各項物聯網知識，開發更多VR學習環境應用。

# Connection & Comments

同一主要作者的另外一篇：

Meta-AR-App: An Authoring Platform for Collaborative Augmented Reality in STEM Classrooms

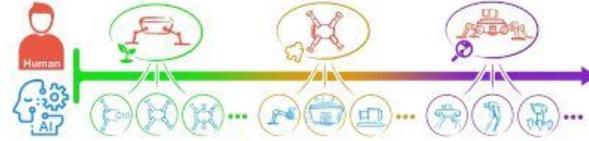


<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3313831.3376146>

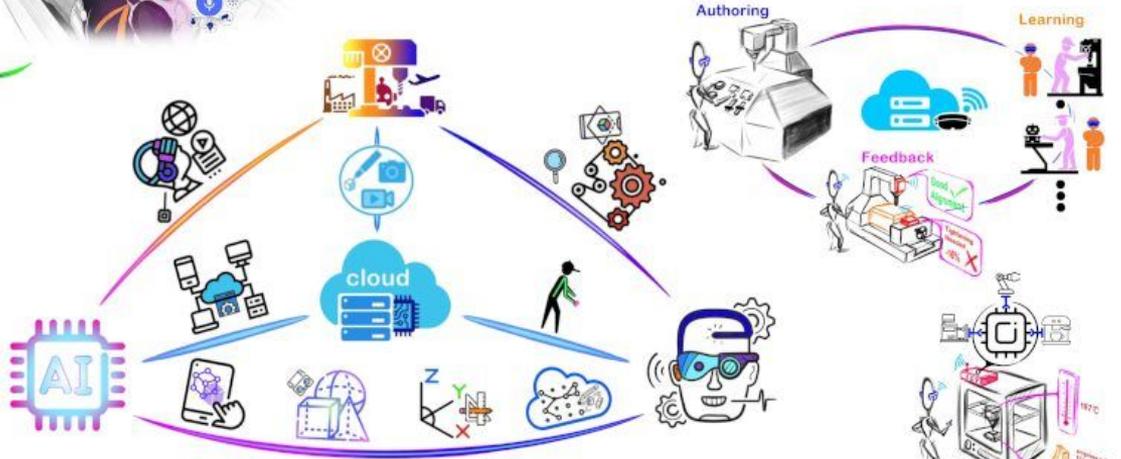
# Connection & Comments

Lowering Barriers to Authoring

Embodied User Experience Sensing



Remote Training in Virtual Reality



**PURDUE**  
UNIVERSITY



created by *Yuanxi Cao*  
**CONVERGENCE**  
**DESIGN LAB**

# Connection & Comments

- 未來的幾個可能延伸應用想法：
  - IoT的物件設備可以真的從虛擬環境去編寫程式碼，寫完的程式碼直接上傳到真實的模組內並進行遠端OTA更新程式碼功能。
  - IoT跟AI技術的學習方式透過虛擬環境來編程，例如基本的AI學習可以3D視覺化，發展類神經網路的代碼編寫視覺化。
  - VR或XR在STEAM學習應用...結合Blockly積木式，做創意學習
  - XR在物聯網的多人協作，結合群體視覺創作，應用在博物館 ...